 AGENZIA DEL DEMANIO STRUTTURA PER LA PROGETTAZIONE	Elaborato: <i>capitolato tecnico prestazionale</i>	Codifica 03 P-VUL-G	
	Sottosezione: <i>Indagini geognostiche</i>	Revisione 01	Data 13/03/2024

Sommario


1. Sondaggi geognostici e prove in situ: Scopo e campo di applicazione	4
2. Riferimenti legislativi, normativi e altre fonti.....	4
3. Sondaggi geognostici.....	5
3.1 Strumentazione.....	6
3.2 Modalità esecutive	9
3.2.1 Installazione delle attrezzature.....	9
3.2.2 Perforazione e Campionamento	10
3.2.3 Campionamento in pozzetti esplorativi.....	14
3.2.4 Catalogazione e confezionamento.....	15
3.2.5 Completamento e sistemazione del foro	17
3.3 Output.....	18
4. Prove geotecniche in situ	18
4.1 Prove in foro	19
4.1.1 Prove penetrometriche dinamiche (SPT)	19
4.1.1.1 Strumentazione e modalità esecutive	19
4.1.1.2 Output.....	20
4.1.2 Prove di permeabilità tipo Lugeon.....	21
4.1.2.1 Strumentazione e modalità esecutive	21
4.1.2.2 Output.....	23
5. Prove di Laboratorio Geotecnico: Scopo e campo di applicazione	24
6. Determinazione delle caratteristiche fisiche e chimiche delle terre.....	24
6.1 Apertura del campione.....	24
6.2 Determinazione del contenuto naturale in acqua.	25
6.3 Determinazione del peso di volume mediante fustella tarata.....	25
6.4 Determinazione del peso di volume reale dei granuli con picnometro.	25
6.5 Determinazione dei limiti di Atterberg.....	25
6.6 Determinazione del limite di ritiro.	25
6.7 Analisi granulometrica meccanica eseguita mediante setacci.	25
6.8 Analisi granulometrica per sedimentazione col metodo del densimetro o della pipetta....	25
6.9 Prova di permeabilità mediante permeametro a carico costante o variabile	26
6.10 Determinazione del contenuto in carbonati.	26
6.11 Determinazione del contenuto in sostanze organiche	26
6.12 Determinazione del pH con il metodo colorimetrico o con pH-metro	26

Via Barberini, 38 – 00187, Roma


Tel. 39 06.42367 756 – Fax mail +39 06.50 51 60 90

e-mail: dg.strutturaprogettazione@agenziademanio.it


pec: StrutturaProgettazione@pce.agenziademanio.it

 AGENZIA DEL DEMANIO STRUTTURA PER LA PROGETTAZIONE	Elaborato: <i>capitolato tecnico prestazionale</i>	Codifica 03_P-VUL-G	
	Sottosezione: <i>Indagini geognostiche</i>	Revisione 01	Data 13/03/2024

7.	Prove meccaniche sulle terre	27
7.1	Prova di compressione ad espansione laterale libera (ELL).....	27
7.2	Prova di taglio diretto con scatola di Casagrande	27
7.3	Prova di taglio con apparecchio anulare per la determinazione della resistenza residua	27
7.4	Prova di taglio con scissometro da laboratorio (Vane Test)	27
7.5	Prova di compressione triassiale	27
7.6	Prova di compressione edometrica	28
7.7	Determinazione della pressione di rigonfiamento (ISP) in cella edometrica	28
7.8	Determinazione della deformazione di rigonfiamento in cella edometrica (ISS)	28
7.9	Determinazione del coefficiente di spinta a riposo k_0	28
7.10	Colonna risonante.....	28
7.11	Taglio torsionale ciclico	29
8.	Determinazione delle caratteristiche fisiche e chimiche delle rocce	29
8.1	Determinazione del tenore in silice	29
8.2	Determinazione del tenore in carbonati totali	30
8.3	Analisi petrografica mediante determinazione microscopica su sezione sottile	30
8.4	Analisi diffrattometrica su campione di roccia.....	30
8.5	Analisi al microscopio a scansione elettronica (SEM)	31
9.	Prove meccaniche sulle rocce	33
9.1	Taglio di provini prismatici	33
9.2	Carotaggio di provini cilindrici da blocchi informi di roccia o da spezzoni di carota di roccia	33
9.3	Spianatura e rettifica di provini cilindrici o prismatici di roccia	33
9.4	Prova di compressione monoassiale su provini di roccia cilindrici o prismatici	33
9.5	Determinazione delle costanti elastiche dinamiche di provini di roccia	33
9.6	Determinazione della resistenza a trazione con prova indiretta "Brasiliana"	34
9.7	Determinazione dell'angolo di attrito di base di una roccia mediante "Tilt Test"	34
9.8	Prova di durezza superficiale mediante impiego di sclerometro (martello di Schmidt).....	34
9.9	Determinazione del coefficiente di abrasione "Los Angeles"	34
9.10	Prova di taglio con apparecchio di Hoek lungo giunti lisci o naturali.....	34
10.	Indagini Geofisiche: Scopo e campo di applicazione.....	34
11.	Indagini geosismiche	35
11.1	Sismica a rifrazione	35
11.1.1	Strumentazione e modalità esecutive	35
11.1.2	Output.....	36

 AGENZIA DEL DEMANIO STRUTTURA PER LA PROGETTAZIONE	Elaborato: <i>capitolato tecnico prestazionale</i>	Codifica 03_P-VUL-G	
	Sottosezione: <i>Indagini geognostiche</i>	Revisione 01	Data 13/03/2024

11.1.3	Riferimenti normativi	37
11.2	Prospezione sismica con tecnica Down-Hole.....	37
11.2.1	Strumentazione e modalità esecutive	37
11.2.2	Output.....	39
11.3	Prospezione sismica attiva di superficie del tipo Multichannel Analysis of Surface Waves (M.A.S.W.).....	39
11.3.1	Strumentazione e modalità esecutive	39
11.3.2	Output.....	40
11.4	Misure di rumore sismico ambientale a stazione singola. Metodo HVSR	40
11.4.1	Strumentazione e modalità esecutive	41
11.4.2	Output.....	42
12.	Indagini geoelettriche	42
12.1	Prospezione elettrica col metodo della tomografia elettrica multielettrodo.....	42
12.1.1	Strumentazione e modalità esecutive	43
12.1.2	Output.....	44
13.	Indagini elettromagnetiche	44
13.1	Prospezione elettromagnetica col metodo del Ground Penetrating Radar (G.P.R.).....	44
13.1.1	Strumentazione e modalità esecutive	45
13.1.2	Output.....	45
13.1.3	Riferimenti normativi	46
13.2	Prospezione elettromagnetica con elettromagnetometro	46
13.2.1	Strumentazione e modalità esecutive	47
13.2.2	Output.....	48
14.	Indagini preliminari sulla GEOTERMIA	48
14.2	Modalità esecutive	49
14.3	Output.....	50
14.4	Ubicazione della perforazione per installazione della sonda geotermica	50
15.	Piano delle indagini e relativa ubicazione.....	50
16.	Calcolo Parcella.....	51

 AGENZIA DEL DEMANIO STRUTTURA PER LA PROGETTAZIONE	Elaborato: <i>capitolato tecnico prestazionale</i>	Codifica 03_P-VUL-G	
	Sottosezione: <i>Indagini geognostiche</i>	Revisione 01	Data 13/03/2024

1. Sondaggi geognostici e prove in situ: Scopo e campo di applicazione

La presente sezione è parte integrante del “Capitolato speciale d’appalto - sezione tecnica” e disciplina le attività relative ai SONDAGGI GEOGNOSTICI E PROVE IN SITU. Questo tipo di indagini vengono svolte per indagare il sottosuolo e permettono di raccogliere campioni di terreno dal “piano campagna” fino alla profondità desiderata. Il terreno viene estratto e catalogato all’interno di apposite cassette e al termine della perforazione si procede con il riconoscimento del terreno raccolto per poterne descrivere la stratigrafia, ed effettuare semplici test meccanici.

Rispetto ad altre tecniche di indagine, il sondaggio permette di campionare qualunque tipo di terreno con lo scopo di:

- raccogliere “campioni indisturbati” di terreno, da sottoporre a prove di laboratorio;
- raccogliere “campioni rimaneggiati”, sempre per indagini in laboratorio;
- campioni ambientali, necessari per le eventuali analisi chimiche;
- definire la stratigrafia dell’area investigata;
- installare strumentazione in foro;
- eseguire delle “prove in foro” di natura geotecnica, geofisica, idrogeologica.


Generalmente i sondaggi vengono sfruttati all’interno di campagne geognostiche (ossia per conoscere la geologia dell’area), indagini ambientali (investigazioni finalizzate alla verifica delle qualità ambientali di un sito, ossia verificarne il possibile inquinamento), indagini preventive per terre e rocce da scavo (raccolta di campioni per verificare se il materiale scavato durante un cantiere possa essere riutilizzato).

2. Riferimenti legislativi, normativi e altre fonti

Si elencano a titolo esemplificativo ma non esaustivo i seguenti riferimenti.

RIFERIMENTI NORMATIVI

- ASTM D5731 – 16 (2018). Standard Test Method for Determination of the Point Load Strength Index of Rock Application to Rock Strength Classification;
- ASTM D5873 – 14 (2014). Standard Test Method for Determination of Rock Hardness by Rebound Hammer Method.
- ASTM D6032 / D6032 M – 17 (2018). Standard Test Method for Determining Rock Quality Designation (RQD) of Rock Core.
- UNI EN ISO 14688-1 (2018) – Indagini e prove geotecniche – Identificazione e classificazione dei terreni – Parte 1: Identificazione e descrizione
- UNI EN ISO 14688-2 (2018) – Indagini e prove geotecniche – Identificazione e classificazione dei terreni – Parte 2: Principi per una classificazione
- UNI EN ISO 14689 (2018) – Indagini e prove geotecniche – Identificazione, descrizione e classificazione delle rocce
- UNI EN ISO 22475-1 Metodi di campionamento e misurazioni sull’acqua del sottosuolo
- UNI EN 1997-2 : 2007 Soil and rock sampling and groundwater measurements
- ASTM D6032-96. Standard Test Method for Determining Rock Quality Designation (RQD) of Rock Core.
- CNR-BU n.25 (1972). Campionature di terre e terreni.

 AGENZIA DEL DEMANIO STRUTTURA PER LA PROGETTAZIONE	Elaborato: <i>capitolato tecnico prestazionale</i>	Codifica 03_P-VUL-G	
	Sottosezione: <i>Indagini geognostiche</i>	Revisione 01	Data 13/03/2024

- UNI EN ISO 22476-3 (2012). Indagini e prove geotecniche - Prove in sito -Parte 3: Prova penetrometrica dinamica tipo SPT (Standard Penetration Test);
- UNI ENV 1997-1 (2005) – Eurocodice 7 - Progettazione geotecnica – Parte 1: Regole generali;
- UNI ENV 1997-2 (2007) – Eurocodice 7 - Progettazione geotecnica – Parte 2: Indagini e prove nel sottosuolo;
- UNI EN ISO 22282-1 (2012) Indagini e prove geotecniche - Prove idrauliche nel sottosuolo - Parte 1: Regole generali;
- UNI EN ISO 22282-2 (2012) Indagini e prove geotecniche - Prove idrauliche nel sottosuolo - Parte 2: Prove di permeabilità all'acqua eseguite in un foro di sondaggio a circuito aperto
- UNI EN ISO 22282-3 (2012) Indagini e prove geotecniche - Prove idrauliche nel sottosuolo - Parte 3: Prove di pressione idraulica nelle rocce
- UNI EN ISO 22476-2 (2012) -Indagini e prove geotecniche - Prove in sito - Parte 2: Prova di penetrazione dinamica

ALTRE FONTI

- Associazione Geotecnica Italiana (1977). Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche.
- L'Indagine Geotecnica. Caratterizzazione geotecnica delle terre e delle rocce attraverso prove in sito e di laboratorio (M. Tanzini)
- Associazione Geotecnica Italiana (1977). Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche.
- Prove geotecniche in sito a cura di Ferruccio Cestari (1996)
- In situ testing in Geomechanics a cura di Fernando Schnaid (2009)
- Manuale per l'esecuzione e l'interpretazione di prove CPT a cura di Diego Lo Presti, Claudia Meisina e Pagani Geotechnical Equipment

3. Sondaggi geognostici


I sondaggi geognostici rappresentano la metodologia di indagine che consente l'ispezione dei terreni per mezzo di una perforazione. In base alle finalità, i sondaggi possono essere eseguiti mediante perforazioni a distruzione di nucleo o a carotaggio continuo.

Nei sondaggi a distruzione di nucleo, la perforazione avviene per mezzo di utensili di taglio a sezione piena e il prodotto ottenibile da questi tipi di sondaggi è rappresentato da detriti di perforazione (cuttings).

Di norma i sondaggi a distruzione vengono realizzati per le seguenti finalità:

- esecuzione di prove geotecniche, geomeccaniche o idrogeologiche a quota prestabilita;
- allargamento del foro prodotto da un attrezzo impiegato per l'esecuzione di una prova in sito;
- attraversamento di strati ad elevata resistenza per consentire l'approfondimento di prove in sito;
- esecuzione di sondaggi speditivi atti al riconoscimento approssimato della stratigrafia dei terreni;
- posa in opera di strumentazioni ed apparecchiature di controllo e monitoraggio.

Nei sondaggi a carotaggio continuo, la perforazione avviene utilizzando utensili di taglio a sezione cava quali carotieri, eliche continue cave e campionatori e il prodotto ottenibile da questi tipi di sondaggi è rappresentato da carote.

	Elaborato: capitolato tecnico prestazionale	Codifica 03_P-VUL-G	
	Sottosezione: Indagini geognostiche	Revisione 01	Data 13/03/2024

Si eseguono quando, per il riconoscimento del terreno, devono essere prelevati, campioni rappresentativi dei sedimenti e deve essere rilevata la completa stratigrafia dei terreni attraversati nonché la presenza e la natura delle discontinuità.

Di norma i sondaggi a carotaggio continuo vengono realizzati per le seguenti finalità:

- descrizione stratigrafica geotecnica e/o geomeccanica dei materiali incontrati nella perforazione;
- prelievo di campioni di qualità superiore a quelli ottenibili tramite sondaggi a distruzione di nucleo;
- esecuzione in foro di prove geotecniche, geomeccaniche e idrogeologiche;
- attrezzatura del foro per prove di controllo e di monitoraggio;
- rilievo del livello piezometrico della falda.

In aree urbane ed ovunque si renda necessario, l'area di cantiere dovrà essere delimitata con opportuna recinzione che impedisca l'accesso ai non addetti ai lavori.

3.1 Strumentazione

Le attrezzature da impiegare per l'esecuzione dei sondaggi devono essere opportunamente selezionate in modo che il necessario campionamento e le eventuali prove in foro possano essere eseguiti alle profondità del foro stabilite nel programma delle indagini.

L'Ente si riserva la possibilità di autorizzare l'impiego di attrezzature con requisiti diversi da quelli sottoelencati.


La sonda di perforazione da impiegare per la perforazione deve essere esclusivamente del tipo a rotazione (e/o rotopercussione nel caso di sondaggi a distruzione di nucleo) e deve avere le caratteristiche idonee all'esecuzione del programma di indagini con i requisiti minimi elencati di seguito a titolo esemplificativo:

Velocità di rotazione	0 ÷ 600	(rpm)
Coppia massima	≥ 400	(kgm)
Corsa continua	≥ 1,50	(m)
Spinta	≥ 40	(kN)
Tiro	≥ 40	(kN)
Pompa per fluidi di perforazione	20÷60	[bar (pressione)]
Pompa ad alta pressione (100 bar) per il campionamento	presente	
Argano a fune	presente	

Nel caso di perforazione a rotopercussione che preveda l'impiego di martelli a fondo foro ad aria dovrà essere disponibile in cantiere un compressore opportunamente dimensionato per consentire l'avanzamento dell'utensile di perforazione nel sottosuolo. Nel caso di impiego di martelli a fondo foro ad acqua dovrà essere disponibile in cantiere una pompa dedicata per consentire l'avanzamento dell'utensile di perforazione nel sottosuolo.

La pompa per la circolazione del fluido, solidale o meno alla sonda di perforazione, dovrà essere del tipo a pistoncini o a vite e dovrà avere un circuito supplementare per il rabbocco del fluido a testa foro. Dovrà avere una potenza atta a sviluppare una velocità di fuoriuscita del fluido di circolazione tale da impedire la decantazione dei detriti nel foro di sondaggio.

Nel caso di impiego di fanghi di circolazione dovrà essere disponibile l'impianto per la preparazione ed il recupero degli stessi. L'utilizzo di fanghi richiede l'adozione di un impianto per la preparazione, il recupero e la pulizia medesimi. La pompa utilizzata per

 AGENZIA DEL DEMANIO STRUTTURA PER LA PROGETTAZIONE	Elaborato: <i>capitolato tecnico prestazionale</i>	Codifica 03_P-VUL-G	
	Sottosezione: <i>Indagini geognostiche</i>	Revisione 01	Data 13/03/2024

la circolazione dei fluidi di perforazione dovrà avere una potenza atta a sviluppare una adeguata velocità di fuoriuscita dei fanghi stessi dal foro onde impedire la decantazione dei detriti nel foro di sondaggio.

Tutte le attrezzature operanti dovranno essere dotate di idoneo manometro per il controllo delle condizioni operative, in particolare, il manometro sulla pompa servirà da strumento di controllo per evitare che non si presentino sovrappressioni del fluido di circolazione sia durante la perforazione sia durante il prelievo dei campioni.

Il corredo della sonda dovrà essere completo di tutti gli accessori necessari per l'esecuzione del lavoro e per la riparazione dei guasti di ordinaria entità.

L'avanzamento dell'utensile di perforazione dovrà avvenire per mezzo di aste filettate in acciaio. Nei sondaggi a distruzione di nucleo l'utensile di taglio sarà a sezione piena, costituito da scalpelli di varia tipologia, martelli a fondo foro ed eliche continue.

Nei sondaggi a carotaggio continuo l'utensile di taglio sarà a sezione cava, rappresentato da carotieri, campionatori ed eliche continue cave. La scelta del tipo di utensile di perforazione sarà funzione dello scopo del sondaggio e della tipologia del terreno da esaminare.

La eventuale proposta di modifica del diametro di perforazione, definita in funzione delle prove da eseguire e/o degli strumenti da installare in foro, dovrà essere preventivamente autorizzata dall'Ente.

I rivestimenti dovranno essere spinti fino alla profondità in cui le pareti del foro non sono in grado di autosostenersi; salvo condizioni particolari e favorevoli, il rivestimento verrà installato a rotazione con l'ausilio del fluido di circolazione il cui livello dovrà essere mantenuto a quota bocca foro per evitare fenomeni di crollo nel foro anche durante la loro estrazione a sondaggio completato.

La tubazione di rivestimento dovrà avere un diametro adeguato al diametro dell'utensile di perforazione e comunque non maggiore di 152mm. La eventuale proposta di modifica del diametro del rivestimento dovrà essere preventivamente approvata dall'Ente.


La perforazione potrà avvenire ricorrendo all'uso o meno del fluido di circolazione, che dovrà svolgere le seguenti principali funzioni:

- Raffreddare l'utensile di perforazione,
- Asportare i detriti di perforazione,
- Sostenere le pareti del foro,
- Migliorare la qualità del campionamento.

Il fluido potrà essere costituito da acqua, fango bentonico e/o polimerico biodegradabile. Mentre l'acqua svolge esclusivamente le prime due funzioni, il fango bentonico e/o polimerico permette anche il sostentamento delle pareti del foro. I fanghi polimerici consentono inoltre la riduzione delle vibrazioni indotte dalla perforazione permettendo quindi un miglioramento della qualità del campionamento.

Nel caso di prove di permeabilità, prove di portata, installazione di piezometri e pozzi sarà consentito il solo utilizzo di acqua pulita o fanghi polimerici biodegradabili entro 72 ore.

Nel caso sia necessario l'utilizzo di fanghi bentonici, la bentonite in polvere dovrà essere verificata prima della sua miscelazione con l'acqua; all'esame visivo non dovrà essere presente nessuna alterazione per effetto dell'umidità. La preparazione e circolazione del fango bentonitico deve essere eseguita mediante l'uso di adeguati mescolatori, pompe, vasche di decantazione ed eventuali additivi.

 AGENZIA DEL DEMANIO STRUTTURA PER LA PROGETTAZIONE	Elaborato: <i>capitolato tecnico prestazionale</i>	Codifica 03_P-VUL-G	
	Sottosezione: <i>Indagini geognostiche</i>	Revisione 01	Data 13/03/2024

Una volta preparato il fango bentonico si dovranno attendere un minimo di 12 ore prima del suo utilizzo al fine di consentire l'idratazione della bentonite. Una volta idratato, il fango bentonitico oltre a non presentare fenomeni di flocculazione, dovrà essere caratterizzato, prima e durante il suo utilizzo, da un quantitativo di acqua libera prossimo allo zero.

A tal fine, dovranno essere presenti in sito strumenti atti alla misurazione dell'acqua libera (cilindro graduato). I fanghi polimerici o bentonitici polimerici utilizzati, dovranno essere biodegradabili.

Dovranno fare parte del corredo delle attrezzature anche i seguenti strumenti:

- livella a bolla con misuratore di angoli digitale;
- G.P.S. portatile in grado di fornire sia l'ubicazione planimetrica che quella altimetrica;
- scandaglio a filo graduato;
- sonda piezometrica elettrica;
- penetrometro tascabile (fondo scala 0,5 e 1 MPa) e scissometro tascabile (fondo scala 100 e 240 kPa);
- calibro digitale;
- acido cloridrico diluito al 5%.

Ove richiesto, per tutta la perforazione e/o parte di essa, dovranno essere registrati, in funzione del tempo o della profondità di perforazione, tramite idonei sensori elettrici di misura direttamente collegati ai circuiti di trasmissione oleopneumatica, i seguenti parametri:

- Velocità di rotazione della testa di perforazione (V_r);
- Velocità istantanea di avanzamento (V_a);
- Spinta applicata sull'utensile di perforazione (PCS);
- Pressione del fluido di circolazione (PIF);
- Coppia di rotazione assorbita.

Per una corretta interpretazione dei risultati ottenuti, la spinta applicata all'utensile dovrà essere mantenuta costante per l'intera verticale di prova e dovrà essere tale da assicurare il superamento dei livelli più resistenti senza provocare un'eccessiva perdita di leggibilità negli strati meno resistenti.


Ove possibile dovrà inoltre essere determinata la portata istantanea e il volume del fluido iniettato dalla pompa durante la perforazione.

La registrazione dei parametri dovrà avvenire preferibilmente con la frequenza di un'operazione di memorizzazione per 1 cm di avanzamento dell'utensile oppure con la frequenza di una registrazione al minuto, nel caso di avanzamenti inferiori a 1 cm/minuto. In ogni caso la frequenza di registrazione non dovrà mai essere superiore a 5 cm di avanzamento.

I dati rilevati dovranno essere memorizzati tramite idoneo registratore analogico/digitale oppure inviati in remoto. L'andamento dei parametri sopra riportati dovranno essere visualizzati in tempo reale durante la perforazione in maniera tale da consentire ove necessario la verifica da parte dell'Ente.

Al termine della perforazione saranno consegnati oltre ai i grafici contenenti, in ascisse, le scale di riferimento relative a ciascun parametro misurato e, in ordinate, i tempi e/o le relative profondità d'investigazione anche i file sorgente in formato .csv o similare.

Le diagrafie di cui alla presente voce dovranno indicare, oltre alle informazioni base quali il nome del progetto, la data e il codice del foro, il tipo di operazione condotta (perforazione a distruzione di nucleo o carotaggio continuo).

 AGENZIA DEL DEMANIO STRUTTURA PER LA PROGETTAZIONE	Elaborato: <i>capitolato tecnico prestazionale</i>	Codifica 03_P-VUL-G	
	Sottosezione: <i>Indagini geognostiche</i>	Revisione 01	Data 13/03/2024

3.2 Modalità esecutive

3.2.1 Installazione delle attrezzature

L'ubicazione dei sondaggi dovrà essere preventivamente marcata sul sito con il codice del sondaggio. Al completamento del sondaggio, la sua ubicazione planimetrica ed altimetrica dovrà essere rilevata ed inserita in una planimetria di dettaglio.

L'installazione della postazione di sondaggio e di tutte le attrezzature deve essere effettuata in modo da consentire un agevole accesso e permanenza nell'area di lavoro agli operatori, compatibilmente con l'accessibilità generale.

Se richiesto dalle condizioni ambientali, si dovranno eseguire, nell'area interessata, la regolarizzazione del piano di campagna mediante asportazione o riporto di terra o materiale arido ed ogni opera provvisoria atta ad impedire ristagni d'acqua e la stabilità della macchina operatrice.

Prima di iniziare la perforazione occorre orientare la guida di scorrimento della testa di rotazione della sonda secondo l'inclinazione e la direzione desiderata. L'inclinazione dovrà essere controllata con una livella a bolla di lunghezza non inferiore a 50 cm con misuratore di angoli digitale.

La ricostruzione stratigrafica avviene prelevando e analizzando il materiale che si ottiene dai sondaggi. Per una corretta ricostruzione, l'indagine dovrà essere condotta in maniera tale da rendere minimo il disturbo nei terreni attraversati e consentire l'esecuzione di prove geotecniche ed idrogeologiche in foro.

In base allo scopo dell'indagine e quindi del tipo di attrezzatura utilizzata il materiale potrà essere prelevato sotto forma di detriti di perforazione (sondaggi a distruzione di nucleo) o sotto forma di carote (sondaggi a carotaggio continuo).


Nei sondaggi a carotaggio continuo, il prelievo del materiale dovrà essere integrale e rappresentativo dei terreni attraversati, mentre in roccia, terreni compositi e cementati o terreni coesivi la percentuale di recupero non dovrà essere inferiore al 90%.

In entrambi i casi, le operazioni di prelievo dovranno essere condotte in maniera tale da assicurare la stabilità delle pareti e del fondo del foro; se necessario, dovranno quindi essere utilizzati tubi di rivestimento provvisorio e/o fanghi bentonitici e/o polimerici in grado di svolgere questa funzione.

Il battente di fluido deve essere mantenuto prossimo a bocca foro mediante rabbocchi progressivi specialmente durante l'estrazione di carotieri e campionatori. L'estrazione delle aste ed eventualmente dei rivestimenti deve avvenire lentamente, intervallando, se necessario, pause per consentire il ristabilimento della pressione idrostatica nel foro; devono essere evitati effetti di risucchio dovuti ad un brusco sollevamento della batteria d'aste o degli eventuali rivestimenti.

In particolare, la manovra di campionamento per il prelievo della carota dovrà sempre precedere quella dell'installazione del rivestimento a quota. La quota a cui dovrà fermarsi l'estremità inferiore del rivestimento dovrà essere 0.2-0.5 m più alta della quota di inizio del successivo prelievo per minimizzare il disturbo del terreno presente a fondo foro.

L'installazione del rivestimento e l'esecuzione della perforazione, nei tratti interessati da prelievi di campioni o prove in sito, dovranno essere eseguiti evitando qualsiasi eccesso di pressione nel fluido di perforazione; la sovrappressione del fluido potrebbe essere dovuta ad un'infissione troppo rapida o alle formazioni di "anelli" all'esterno del rivestimento o a tappi interni ai carotieri. Perciò, la pressione del fluido a testa foro dovrà essere controllabile in ogni istante attraverso un manometro di basso fondo scala e non dovrà essere superiore alla pressione naturale alla quota del fondo foro.

 AGENZIA DEL DEMANIO STRUTTURA PER LA PROGETTAZIONE	Elaborato: <i>capitolato tecnico prestazionale</i>	Codifica 03_P-VUL-G	
	Sottosezione: <i>Indagini geognostiche</i>	Revisione 01	Data 13/03/2024

Il diametro dell'utensile di perforazione dovrà essere funzione del diametro delle aste di perforazione, tale da creare uno spazio anulare terreno-asta tale da consentire un'agevole risalita del fluido di perforazione e dei detriti di perforazione.

Le misure della falda dovranno essere eseguite ogni giorno prima dell'inizio della perforazione ed al termine della stessa. Il livello dell'acqua misurato dovrà essere riferito al piano campagna e dovrà essere corredato da ulteriori informazioni quali data e ora della misura, quota del fondo foro, quota dell'estremità inferiore dell'utensile di taglio, quota dell'estremità inferiore dell'eventuale rivestimento provvisorio.

Tali informazioni dovranno essere annotate nella documentazione del sondaggio.

3.2.2 Perforazione e Campionamento

I campioni dovranno essere rappresentativi delle caratteristiche fisiche e meccaniche del terreno; pertanto, dovranno essere prelevati tenendo conto delle esigenze dell'indagine, cioè del grado di qualità richiesto e delle quantità necessarie per le prove di laboratorio. La norma UNI EN ISO 22475-1:2007 classifica i metodi di campionamento in tre diverse categorie di campionamento in funzione della qualità del campione che si vuole ottenere; ad ognuna della Categorie di Campionamento vengono associate diverse Classi di Qualità del campione. Il numero di campionamenti, la relativa quota in foro di sondaggio e la tipologia di campione da prelevare saranno indicati e stabiliti.

Il prelievo di materiale dal sottosuolo per mezzo di perforazioni può essere ottenuto per mezzo di:

- Utensili di taglio a sezione piena, impiegati nei sondaggi a distruzione di nucleo.
- Utensili di taglio a sezione cava, impiegati nei sondaggi a carotaggio continuo.

La combinazione di questi metodi è possibile e talvolta necessaria per rispondere sia alle diverse situazioni geologiche che allo scopo dell'indagine. Altri tipi di utensili, diversi da quelli riportati nei paragrafi successivi, potranno essere utilizzati salvo preventivo parere e autorizzazione da parte dell'Ente.

Gli utensili di taglio a sezione piena permettono l'esecuzione esclusiva di sondaggi a distruzioni di nucleo e consentono quindi di ottenere campioni di scarsa qualità.

A seconda del tipo di terreno da attraversare, dovranno essere disponibili in cantiere:

- Scalpelli di varia tipologia
- Martelli a fondo foro
- Eliche continue


L'utilizzo di scalpelli e martelli necessita l'impiego del fluido di circolazione che uscirà da appositi fori collocati sugli stessi. La perforazione mediante eliche continue avviene invece a secco.

Nelle terre la perforazione verrà eseguita a rotazione mediante utilizzo di eliche continue oppure utilizzando scalpelli a lame o a rulli; mentre nelle rocce la perforazione a distruzione verrà eseguita a rotazione o a rotopercolazione. Il diametro dell'utensile di perforazione dovrà essere compreso tra 70mm e 100mm.

Nel caso di combinazione di diversi metodi di campionamento, dovranno essere utilizzati diametri tali da non precludere o comunque complicare le operazioni di perforazione.

I campioni verranno contabilizzati soltanto se di quantità tale da consentire l'esecuzione delle prove di laboratorio prescritte.

Gli utensili di taglio a sezione cava per sondaggi a carotaggio continuo possono essere i seguenti:

 AGENZIA DEL DEMANIO STRUTTURA PER LA PROGETTAZIONE	Elaborato: <i>capitolato tecnico prestazionale</i>	Codifica 03_P-VUL-G	
	Sottosezione: <i>Indagini geognostiche</i>	Revisione 01	Data 13/03/2024

- Carotieri
- Eliche continue cave
- Campionatori

La lunghezza del campione dovrà essere tale da consentire l'esecuzione delle prove di laboratorio prescritte dall'Ente; nel caso di campioni da sottoporre a prove meccaniche, la lunghezza utile non dovrà essere inferiore a 500 mm di lunghezza nel caso essi siano prelevati con un'unica manovra.

Qualora, in casi particolarmente difficili, non si potesse ottenere tale lunghezza, sarà opportuno ricorrere ad una doppia manovra avvalendosi ad esempio, nel caso di utilizzo di campionatori a pareti sottili, di due distinte fustelle consecutive. In tal caso la lunghezza minima, per ogni parte del campione non dovrà essere inferiore a 300 mm.

Nel caso in cui i campioni siano di una qualità tale da consentire esclusivamente la determinazione della granulometria e dei limiti di Atterberg, la quantità necessaria all'esecuzione delle prove sarà funzione della dimensione massima del minerale appartenente al campione. I campioni verranno contabilizzati soltanto se di qualità e in quantità tale da consentire l'esecuzione delle prove di laboratorio prescritte. La qualità e quantità verrà giudicata dal Laboratorio all'atto dell'apertura.

I carotieri sono utensili adatti per il campionamento di terreni coesivi, terreni cementati, massi e rocce in genere. Sono invece inadatti per tutti i terreni granulari; questi si distinguono sostanzialmente in due classi:

a. **Carotiere semplice (o carotiere T1)**: rappresenta lo strumento più semplice e pratico per l'ottenimento dei campioni, è rappresentato da un tubo di acciaio la cui estremità inferiore è costituita da una corona tagliente provvista generalmente di inserti in carburo di tungsteno (WIDIA) e può essere equipaggiato con tubo interno in plastica.

Il suo avanzamento nel terreno avviene per mezzo di un'azione combinata di spinta e rotazione. Può essere utilizzato sia in terre sia in rocce con o senza fluido di circolazione. Nei terreni coesivi ed organici l'avanzamento del carotiere dovrà avvenire possibilmente per mezzo della sola pressione di spinta senza impiego di fluidi di perforazione per impedire il dilavamento delle frazioni fini e in presenza di terreni estremamente molli sarà necessario posizionare in prossimità della corona un cestello di ritenuta per impedire al materiale di sfilarsi.


Nei casi in cui non è possibile avanzare con la sola pressione di spinta, dovrà essere applicato un movimento rotatorio tale da consentire l'approfondimento dell'utensile nel terreno. Piccoli movimenti in su e giù della batteria di aste sono ammessi per facilitare il suo approfondimento nel terreno così come l'utilizzo di un certo quantitativo d'acqua. Si deve tuttavia tener presente che nel carotiere semplice il fluido di circolazione si trova a diretto contatto con la carota provocando un disturbo maggiore sulla stessa.

Per il motivo sopra citato, sarà quindi fondamentale specificare le modalità con cui è avvenuto campionamento (solo spinta, spinta e rotazione, spinta-rotazione-fluido) nell'elaborato stratigrafico.

Non è consigliato il suo utilizzo in terreni granulari, tuttavia può essere utilizzato in ghiaie e sabbie qualora esse presentino una percentuale di materiale coesivo tale da conferire la coesione necessaria per consentire il campionamento.

Consente la ricostruzione del profilo stratigrafico consentendo l'identificazione degli strati principali con informazioni relative alla dimensione dei minerali nel caso di terre e rocce sedimentarie di natura clastica.

Salvo diverse prescrizioni da parte dell'Ente, il carotiere semplice dovrà avere un diametro esterno uguale a 101mm e fornire un campione con diametro nominale pari a 83mm.

 AGENZIA DEL DEMANIO STRUTTURA PER LA PROGETTAZIONE	Elaborato: <i>capitolato tecnico prestazionale</i>	Codifica 03_P-VUL-G	
	Sottosezione: <i>Indagini geognostiche</i>	Revisione 01	Data 13/03/2024

b. **Carotiere a doppia o tripla parete:** trova principalmente impiego nel carotaggio di rocce e può essere utilizzato anche per il prelievo di campioni nei terreni caratterizzati da una elevata consistenza.

Il carotiere a doppia parete è costituito da due tubi di acciaio coassiali; il tubo esterno, al quale è trasmesso il movimento rotatorio, è provvisto alla sua estremità inferiore di una corona tagliente di varia natura, mentre il tubo interno, oltre ad essere più corto rispetto al tubo esterno, è costituito da un acciaio molto più sottile e non ruota.

La funzione del tubo esterno è quindi quella di tagliare il terreno, mentre quella del tubo interno è quella di accogliere il terreno tagliato limitando sia il contatto con il fluido di circolazione che scorre tra i due tubi, sia il disturbo dovuto al movimento rotatorio. Il tubo interno è inoltre dotato di un estrattore a molla che consente sia di “strappare” la roccia al termine della manovra che di trattenere la carota all’interno del tubo stesso evitando che essa scivoli all’interno del foro.

Il carotiere a tripla parete, a differenza di quello a doppia parete, presenta un ulteriore fustella in plastica trasparente alloggiata all’interno del tubo interno non rotante. La fustella protegge ulteriormente il campione da eventuali disturbi causati dalla perforazione.

I principali carotieri sono:

Carotiere doppio tipo T2: è un carotiere doppio con corona a parete sottile e quindi con minima superficie di taglio e alte velocità di penetrazione. Grazie alla limitata superficie tagliente è possibile ottenere una elevata velocità di penetrazione, con tutti i vantaggi ad essa legati. Particolarmente adatto per il carotaggio di “terreni omogenei”.

Carotiere doppio tipo T6: si tratta di un carotiere robusto indicato in ogni tipo di terreno. A differenza del tipo T2 è adatto anche per il carotaggio in formazioni sedimentarie, alluvionali o alterate dove sia necessario ricorrere ai fanghi bentonitici come fluido di circolazione per stabilizzare il foro. Lo spazio anulare tra i tubi esterno e interno è sufficiente per consentire il passaggio dell’eventuale fango di perforazione.

Carotiere doppio tipo T6s: a differenza del precedente, il tubo interno non rotante è divisibile longitudinalmente a metà e permette l’esame immediato del campione senza doverlo estrarre meccanicamente.


Carotiere triplo tipo T6 triplex: variante tripla del carotiere doppio tipo T6, risulta particolarmente adatto per il carotaggio con alta percentuale di recupero in formazioni sedimentarie, alluvionali ed alterate. Il tubo in plastica trasparente permette di ottenere carote protette e di alta qualità, una buona presentazione e facilita la movimentazione ed il trasporto.

Salvo diverse prescrizioni da parte dell’Ente, i carotieri sopra elencati dovranno avere un diametro esterno uguale a 101mm e fornire un campione con diametro nominale compreso tra 72mm e 84mm in funzione del tipo di carotiere utilizzato.

Salvo diverse prescrizioni da parte dell’Ente, i carotieri sopra elencati dovranno avere un diametro esterno uguale a 88.9mm o 114mm e fornire un campione con diametro nominale compreso tra 61mm e 85mm in funzione del tipo di carotiere utilizzato.

I campionatori sono utensili che consentono il campionamento del terreno per effetto della sola azione di spinta che può essere di tipo statico o dinamico senza l’ausilio del fluido di circolazione, per questa ragione essi trovano impiego esclusivamente nelle terre, in particolare in quelle coesive e organiche caratterizzate dall’assenza di elementi grossolani.

Per il prelievo di campioni indisturbati, la fustella porta campione dei campionatori dovrà essere a pareti sottili in acciaio inossidabile, liscia, priva di cordoli e non ovalizzata. Prima del suo utilizzo dovrà essere effettuato un controllo per verificare la sua pulizia e

 AGENZIA DEL DEMANIO STRUTTURA PER LA PROGETTAZIONE	Elaborato: <i>capitolato tecnico prestazionale</i>	Codifica 03_P-VUL-G	
	Sottosezione: <i>Indagini geognostiche</i>	Revisione 01	Data 13/03/2024

l'eventuale presenza di irregolarità o corrosioni che possano causare disturbi al campione.

La lunghezza del campionatore deve soddisfare due esigenze fondamentali, definite da un massimo e da un minimo:

- la lunghezza massima è funzione della penetrazione oltre la quale il campionatore tende a deformare il terreno sottostante tendendo a romperlo;
- la lunghezza massima del campione sarà funzione della lunghezza del campionatore; si preferisce utilizzare non più del 90% della lunghezza a disposizione e non sono comunque ammessi avanzamenti superiori alla lunghezza del campionatore.

D'altro canto, il campione dovrà avere una lunghezza minima tale da garantire un sufficiente tratto centrale intatto dato che un certo inevitabile disturbo si concentra nella parte alta e bassa del campione.

I principali campionatori utilizzati sono:

a. Campionatore a tubo aperto a pareti sottili (Shelby)

Il campionatore a tubo aperto a pareti sottili detto anche campionatore Shelby rappresenta il metodo maggiormente impiegato per il campionamento di terreni coesivi/pseudocoesivi ed organici caratterizzati da una consistenza media e medio-bassa.

È costituito da una fustella in acciaio inossidabile a pareti sottili, circa 2mm di spessore, collegata ad una testa munita di valvola di sfogo e di attacco alle aste di manovra. La valvola consente la fuoriuscita di acqua presente all'interno del foro di sondaggio durante l'approfondimento del campionatore nel terreno.

Il campionatore viene spinto nel terreno a pressione. Il suo avanzamento deve essere continuo, a velocità costante, senza flessioni o rotazioni del campionatore. Il campionamento avviene a secco.

Il campionatore Shelby dovrà avere un diametro esterno uguale a circa 89mm e fornire un campione con diametro nominale rispettivamente uguale a circa 85mm.


Essendo un campionatore di tipo aperto, presenta l'inconveniente che si abbia ingresso di materiale rimaneggiato dal fondo del foro e dalle sue pareti, sarà quindi necessaria la pulizia del foro prima di iniziare la procedura di campionamento.

b. Campionatore a pistone a pareti sottili

I campionatori a pistone sono così chiamati per la presenza di un pistone posizionato in corrispondenza della parte inferiore del campionatore. Il pistone si trova a filo con il tagliente del tubo campionatore. Scopo del pistone è quello di impedire, prima dell'infissione nel terreno, l'ingresso di materiale dalle pareti o dal fondo del foro e creare il vuoto alla testa del campione impedendogli di fuoriuscire dalla fustella.

Il campionatore a pistone a pareti sottili per eccellenza è rappresentato dal campionatore Osterberg che è caratterizzato da un pistone fisso rigidamente collegato alla sua testa: questo è costituito da due tubi coassiali di cui quello interno funge da tubo campionatore, con caratteristiche identiche a quelle della fustella in acciaio inossidabile utilizzata nel campionatore a tubo aperto a pareti sottili. Una volta arrivati alla quota di campionamento, il tubo campionatore viene estruso e infisso nel terreno mediante pressione idraulica pompata attraverso le aste di manovra dalla superficie.

La presenza di una valvola di sfogo nella parte alta del campionatore permette l'azzeramento della pressione a fine corsa. Proprio per la difficoltà di produrre una forte spinta con la sola pressione dell'acqua, il campionatore Osterberg trova principalmente impiego in terreni coesivi ed organici caratterizzati da una consistenza tenera. Per

 AGENZIA DEL DEMANIO STRUTTURA PER LA PROGETTAZIONE	Elaborato: <i>capitolato tecnico prestazionale</i>	Codifica 03_P-VUL-G	
	Sottosezione: <i>Indagini geognostiche</i>	Revisione 01	Data 13/03/2024

minimizzare l'entità dei disturbi causati dal campionamento, l'avanzamento a pressione dovrà essere continuo e il più rapido possibile specialmente nei terreni sopra detti. Il campionatore Osterberg dovrà avere un diametro esterno uguale a circa 89mm e fornire un campione con diametro nominale uguale a circa 85mm.

Campionatore Raymond (Campionatore S.P.T.)

Il campionatore Raymond è il campionatore comunemente utilizzato nelle prove penetrometriche S.P.T.

Questo è costituito da tre parti: testa munita di valvola di sfogo, tubo campionatore divisibile longitudinalmente, scarpa tagliente e viene infisso a percussione nel terreno senza l'ausilio di un fluido di perforazione. Per i dettagli della prova si rimanda al paragrafo dedicato alla prova S.P.T.

Al termine della prova, il tubo campionatore viene aperto consentendo l'esame immediato del campione senza doverlo estrarre meccanicamente. Nonostante la prova S.P.T. sia particolarmente indicata in sabbie, il campionatore Raymond consente anche il campionamento di terreni coesivi ed organici.

Il campionatore Raymond dovrà avere un diametro esterno uguale a 51mm e fornire un campione con diametro nominale uguale a 35mm.

3.2.3 Campionamento in pozzetti esplorativi

Il prelievo di campioni indisturbati può avvenire anche all'interno di scavi e pozzetti esplorativi eseguiti manualmente o per mezzo di mezzi meccanici. Il prelievo può avvenire per mezzo di un apposito campionatore a fustella oppure isolando in sito un idoneo volume di materiale.

Tale campione dovrà essere adeguatamente confezionato in modo tale da non subire disturbi e/o danneggiamenti durante il trasporto fino al laboratorio geotecnico.

Nel caso di campionamento con fustella, questa dovrà avere le seguenti caratteristiche:


- lunghezza: $l \geq 400$ mm;
- diametro interno: $\phi = 89-94$ mm;
- spessore delle pareti: $s < 3$ mm;
- angolo di scarpa: $\alpha = 60^\circ$.

In caso di campionamento mediante isolamento di un blocco di terreno dovrà essere disponibile la seguente attrezzatura:

- attrezzi da scavo (piccone, pala, zappetta);
- attrezzi da taglio (spatole taglienti, filo in acciaio armonico);
- scatola cubica in legno (lato pari a ≥ 30 cm) con maniglie da trasporto; due facce contrapposte devono essere svitabili e riavvitabili in sito con semplice cacciavite;
- paraffina.

Il prelievo dovrà essere eseguito su fronti di scavo freschi, dopo avere rimosso lo strato superficiale essiccato, alterato o allentato, previa pulitura senza rimaneggiamento della superficie di prelievo del campione. Il prelievo deve essere effettuato sotto la sorveglianza del Geologo responsabile del cantiere.

Il cilindro campionatore dovrà essere infisso a pressione costante nel terreno senza movimenti di rotazione e/o oscillazione. Al termine dell'infissione il terreno all'intorno del campionatore dovrà essere asportato e la fustella dovrà essere staccata delicatamente dal fondo per mezzo di un adeguato utensile (spatola tagliente, filo di acciaio armonico), onde evitare rimaneggiamenti o addensamenti artificiali.

 AGENZIA DEL DEMANIO STRUTTURA PER LA PROGETTAZIONE	Elaborato: <i>capitolato tecnico prestazionale</i>	Codifica 03_P-VUL-G	
	Sottosezione: <i>Indagini geognostiche</i>	Revisione 01	Data 13/03/2024

In presenza di terreni coesivi consistenti o in terreni contenenti ciottoli o ghiaia l'infissione della fustella potrà essere favorita con il contemporaneo scavo laterale del terreno all'intorno del campionatore.

Le estremità del campionatore dovranno essere sigillate mediante uno strato di paraffina fusa e con tappi ermeticamente chiusi con nastro adesivo impermeabile.

Per eseguire il prelievo di un campione in blocco si dovrà approfondire lo scavo fino a circa 70 cm al di sotto della quota o profondità di prelievo e successivamente si dovrà operare secondo la seguente procedura:

- isolare un blocco di dimensioni superiori a quelle prefissate di prelievo;
- agendo per strati successivi, dal perimetro verso l'interno, ricavare il blocco delle dimensioni richieste rifinendo con arnesi affilati il blocco stesso;
- paraffinare la superficie del blocco isolato;
- infilare la scatola di legno priva di coperchio e di fondo;
- riempire con paraffina fusa l'intercapedine scatola-campione ed avvitare il coperchio della scatola;
- tagliare alla base il blocco con il filo d'acciaio armonico;
- regolarizzare il campione, paraffinare il lato inferiore e chiudere la faccia inferiore della scatola.

3.2.4 Catalogazione e confezionamento

A prescindere dall'utensile adoperato, la carota recuperata dovrà essere maneggiata in maniera tale da mantenere il suo stato naturale e nel caso di utilizzo di estrusori, l'estrazione dovrà avvenire orizzontalmente nella stessa direzione di entrata nel tubo.

La fase di estrusione della carota deve avvenire in sito, o mediante estrusori idraulici/scarotatrici con utilizzo di un tampone di tenuta per impedire il contatto del fluido di spinta con la carota, o semplicemente aprendo le due metà del tubo, a seconda del carotiere utilizzato.


In tutti i casi, una volta estrusa la carota, si procederà alla selezione del campione all'interno della stessa tenendo conto della quota indicata dall'Ente nel programma di indagini. Identificato il campione, esso dovrà essere posto all'interno di involucri rigidi in PVC di protezione, caratterizzati da un diametro idoneo a quello del campione sigillato alle due estremità mediante paraffina fusa e tappi ermetici. All'esterno dell'involucro sarà posto un cartellino indelebile con le indicazioni definite alla fine del paragrafo.

Nel caso fossero stati utilizzati campionatori a pareti sottili, carotieri a tripla parete o campionatori a tripla parete, il campione rimarrà all'interno del tubo campionatore e verranno sigillate le sue estremità mediante paraffina fusa e tappi a chiusura ermetica. Sul campionatore verrà applicato un cartellino indelebile con le indicazioni definite alla fine del paragrafo.

Tutti i campioni prelevati, imballati e protetti da possibili danneggiamenti, dovranno essere ricoverati in locali adatti, chiusi e asciutti, al riparo da sole e pioggia, prima del sollecito invio al laboratorio geotecnico. Una volta giunti in laboratorio, i campioni verranno portati a giorno e la loro quantità e qualità giudicata in funzione del tipo e numero di prove prescritte. Nel caso di impossibilità di eseguire anche una sola delle prove prescritte, l'Ente dovrà essere tempestivamente informato.

I cartellini con cui verranno contraddistinti i campioni dovranno essere inalterabili e riportare le seguenti informazioni minime:

- Progetto e località;
- Codice del sondaggio;
- Numero del campione;

	Elaborato: <i>capitolato tecnico prestazionale</i>	Codifica 03_P-VUL-G	
	Sottosezione: <i>Indagini geognostiche</i>	Revisione 01	Data 13/03/2024

- Intervallo relativo di profondità del campione;
- Data di prelievo;
- Utensile di perforazione usato;
- Fluido di perforazione usato;
- Orientamento del campione (parte alta, parte bassa).

Le informazioni di cui sopra, ad eccezione dell'ultimo punto, dovranno essere riportate nella stratigrafia.

Le carote estratte nel corso del sondaggio, ad eccezione dei campioni selezionati per le prove di laboratorio, dovranno essere sistemate in apposite cassette catalogatrici munite di scomparti divisorii e coperchio apribile; le cassette dovranno essere resistenti in modo tale da non subire danni negli spostamenti in cantiere per il rilievo del loro contenuto o durante le operazioni di impilamento una sull'altra per il loro stoccaggio.

Gli scomparti dovranno avere una lunghezza interna di 1 m tale da consentire in ogni cassetta la conservazione di 5 m (cinque metri) di carotaggio. Le carote verranno disposte nella cassetta partendo dalla parte in alto a sinistra (porzioni più superficiali) fino ad arrivare alla parte in basso a destra (porzioni più profonde); in corrispondenza della parte alta e bassa di ogni metro in cui è suddivisa la cassetta verranno indicate le quote di riferimento.

Le carote coesive verranno scortecciate mentre quelle costituite da roccia dovranno essere lavate.

I recuperi delle singole manovre dovranno essere evidenziati da setti separatori recanti le seguenti indicazioni:

- Numero di manovra;
- Quota raggiunta con la perforazione riferita alla bocca del foro;
- Lunghezza della manovra;
- Lunghezza della carota;
- Differenza tra la lunghezza della manovra e la lunghezza della carota.

Le cassette catalogatrici saranno fotografate con macchina digitale a colori entro 24 ore dal loro completamento e nelle foto dovranno comparire le indicazioni riguardanti cantiere, sondaggio e quote di riferimento, oltre alla presenza di un metro e di una scala colorimetrica per i riferimenti di scala e colore.


Le fotografie dovranno fornire una visione chiara delle carote contenute, con la fotocamera posizionata in alto perpendicolarmente alla cassetta catalogatrice ubicata a terra ad una distanza di circa 1.5m dalla stessa. La cornice della foto dovrà essere fatta possibilmente coincidere con i bordi della cassetta.

Dovranno essere evitate aberrazioni prospettiche o ombre riflesse che condizionino la resa cromatica della fotografia stessa, che dovrà essere nitida e con i riferimenti scritti ben leggibili.

Le fotografie dovranno essere consegnate in formato digitale e contenute nel Rapporto tecnico finale.

Sul coperchio e su almeno due lati di ciascuna cassetta dovranno essere indicati i dati di identificazione della parte di carotaggio contenuta così come specificato:

- Progetto, località e data (inizio-fine) in cui è stato eseguito il sondaggio;
- Codice del foro di sondaggio;
- Quota, riferita al piano campagna, di inizio e fine della parte di carotaggio contenuta;
- Numero progressivo di ciascuna cassetta catalogatrice.

	Elaborato: <i>capitolato tecnico prestazionale</i>	Codifica 03_P-VUL-G	
	Sottosezione: <i>Indagini geognostiche</i>	Revisione 01	Data 13/03/2024

Le cassette catalogatrice dovranno essere conservate in appositi locali al riparo da pioggia e sole per un periodo non inferiore ai 12 mesi (se non diversamente indicato dall'Ente) dal completamento del sondaggio in modo da consentire eventuali future ispezioni.

3.2.5 Completamento e sistemazione del foro

Al termine della perforazione è importante che il sito sia ripristinato e che non rimangano pericoli che potrebbero nuocere alle persone, agli animali e all'ambiente.

Il foro di sondaggio all'interno del quale non è prevista né l'installazione di strumenti di monitoraggio né alcuna successiva prova in sito dovrà essere riempito in conformità alle regolamentazioni nazionali e prendere in considerazione gli strati, la contaminazione e le caratteristiche geotecniche del terreno.

Per il riempimento dovrà essere utilizzata una miscela a tre componenti costituita da acqua, cemento e bentonite che al fine di consentire un riempimento omogeneo, duraturo e privo di cavità del foro, dovrà essere: stabile, fluida, resistente e duttile.

Il riempimento del foro di sondaggio sarà eseguito dal fondo, in risalita, con una batteria di tubi apposita o con manichetta flessibile. Una volta indurita, la miscela dovrà trovarsi a quota piano campagna e non dovrà essere soggetta a depressioni.

Il foro di sondaggio dovrà essere recintato in modo sicuro fino al suo riempimento definitivo e permanente.

Qualora all'interno dei fori di sondaggio fosse necessario eseguire prospezioni geofisiche, occorrerà inserire tubi in PVC giuntati, con diametro interno non inferiore a 80 mm e spessore non inferiore a 3 mm.

La posa in opera del tubo in PVC dentro il foro di sondaggio per l'effettuazione delle prove geofisiche dovrà effettuarsi con le seguenti modalità operative:


- lavaggio accurato del foro con acqua pulita e controllo della profondità;
- inserimento della tubazione nel foro;
- i tubi saranno giuntati con manicotti incollati ma non rivettati, in modo da garantire la perfetta linearità interna e l'assenza di scalini nella tubazione;
- cementazione dell'intercapedine foro-tubo con una miscela acqua-bentonite-cemento avente le caratteristiche precedentemente specificate per garantire la continuità del contatto terreno-tubazione su tutta la verticale e tale da consentire una buona qualità delle registrazioni sismiche.

La cementazione deve essere eseguita, a partire dal fondo foro con un tubo ausiliario, riempiendo dal basso verso l'alto in maniera uniforme l'intercapedine tra foro e rivestimento, allontanando il fango e i detriti eventualmente presenti.

Qualora la situazione incontrata presentasse forti venute di acqua, fratturazione, scavarnamenti, ecc., la composizione della miscela e la pressione d'iniezione potranno essere opportunamente variate previa autorizzazione dell'Ente.

Una volta terminate le operazioni di rivestimento e cementazione, l'interno dei tubi deve essere lavato con acqua pulita e lasciato pieno d'acqua.

La sistemazione della bocca del foro sarà eseguita con le stesse modalità di seguito indicate. Al termine delle prove geofisiche, se non specificato altrimenti, il foro di sondaggio dovrà essere sistemato seguendo le indicazioni contenute nel paragrafo precedente.

 AGENZIA DEL DEMANIO STRUTTURA PER LA PROGETTAZIONE	Elaborato: <i>capitolato tecnico prestazionale</i>	Codifica 03_P-VUL-G	
	Sottosezione: <i>Indagini geognostiche</i>	Revisione 01	Data 13/03/2024

Nel caso in cui il foro di sondaggio venisse strumentato si dovrà provvedere alla sistemazione del boccaforo al piano di campagna in modo da evitare manomissioni esterne e in modo da permettere di eseguire i controlli periodici e le letture delle apparecchiature installate.

La sistemazione potrà essere eseguita mediante semplice flangia in ferro zincato con chiusura di sicurezza, oppure, nel caso in cui la situazione locale lo richieda, si dovrà provvedere alla formazione di un adeguato pozzetto in muratura o conglomerato cementizio corredato di chiusino carrabile.

3.3 Output


Per ciascun sondaggio geognostico, escluso quelli a distruzione di nucleo, l'Operatore economico dovrà consegnare un Rapporto tecnico di indagine contenente i seguenti elementi minimi:

- a) Progetto, Indirizzo e Coordinate
- b) Tipologia e denominazione del sondaggio
- c) Ubicazione planimetrica (riferita al sistema di riferimento WGS84) ed altimetrica
- d) Azimut ed inclinazione del sondaggio
- e) Data di inizio e fine lavori per ogni singolo sondaggio,
- f) Attrezzatura e utensili di perforazione utilizzati
- g) Fluidi di circolazione utilizzati durante l'intera perforazione
- h) Quota del rivestimento provvisorio
- i) Stratigrafia di dettaglio: descrizione litologica, stratigrafica e geotecnica del terreno investigato con riferimento sia alle quote assolute che a quelle relative
- j) Risultati di eventuali prove S.P.T. con quota e modalità di esecuzione
- k) Risultati di prove speditive eseguite sulle carote
- l) Campioni prelevati con quota e modalità di prelievo
- m) Percentuale di recupero ottenuta per ogni manovra
- n) Rock Quality Designation (R.Q.D.) ottenuto per ogni manovra
- o) Livelli piezometrici
- p) Eventuali anomalie o difficoltà particolari incontrate, nonché qualsiasi altra indicazione ritenuta utile dal perforatore o dal geologo ai fini dell'indagine
- q) Elenco dei campioni prelevati contenente le seguenti informazioni: Numero o codice del campione, Data del prelievo, Quota superiore e inferiore del campione, Tipologia di utensile utilizzato per il prelievo, Eventuali problemi riscontrati durante il campionamento
- r) Foto delle cassette catalogatrici.
- s) Ove previsto, copia di campagna da consegnare all'Ente entro e non oltre 2 giorni dal completamento del sondaggio geognostico.

4. Prove geotecniche in situ

Le prove geotecniche in situ sono prove puntuali che consentono di ricostruire in maniera diretta, ma con un certo margine di incertezza, sia la stratigrafia che le caratteristiche geomeccaniche del terreno indagato, sfruttando la risposta dello stesso.

In assenza di sondaggi geognostici a carotaggio continuo ubicati in prossimità dei punti di prova, l'interpretazione dei dati acquisiti durante le prove geotecniche in situ può portare a conclusioni errate; sarà quindi indispensabile tarare i dati ottenuti da una

 AGENZIA DEL DEMANIO STRUTTURA PER LA PROGETTAZIONE	Elaborato: <i>capitolato tecnico prestazionale</i>	Codifica 03_P-VUL-G	
	Sottosezione: <i>Indagini geognostiche</i>	Revisione 01	Data 13/03/2024

determinata prova sulla base delle risultanze ottenute da sondaggi geognostici eseguiti nelle vicinanze.

Le prove geotecniche in sito possono essere suddivise in due gruppi: prove in foro che richiedono un foro di sondaggio per essere eseguite e prove su verticali autonome che non necessitano di un foro di sondaggio.

4.1 Prove in foro

Le principali prove in foro sono:

- Prove penetrometriche dinamiche (SPT)
- Prove scissometriche (FV)
- Prove con Pressiometro Menard (PM)
- Prove di permeabilità Lefranc e Lugeon

4.1.1 Prove penetrometriche dinamiche (SPT)

Questa prova consente di determinare la resistenza dei terreni alla penetrazione dinamica di un campionatore standard infisso a partire dal fondo di un foro di sondaggio. La penetrazione del campionatore avviene per battuta, lasciando cadere un maglio di un determinato peso da una determinata altezza su una testa di battuta collegata alle aste a cui è connesso il campionatore stesso.


Salvo diversa indicazione, le prove SPT vanno eseguite esclusivamente sui terreni incoerenti costituiti principalmente da sabbie fino a profondità massime non superiori ai 50m.

4.1.1.1 Strumentazione e modalità esecutive

La prova deve essere eseguita su terreno indisturbato e l'attrezzatura dovrà comprendere:

- Dispositivo di battitura: di peso totale non superiore a 115 kg, deve comprendere una testa di battuta di acciaio avvitata sulle aste, un maglio di acciaio da 63,5 +/- 0,5 kg, un dispositivo di guida e di sganciamento automatico del maglio, che assicuri una corsa a caduta libera di 760 +/- 10 mm;
- Aste: dovranno essere dritte, in acciaio, rigide e strettamente avvitate in corrispondenza dei giunti; dovranno avere diametro esterno pari a 50 mm ed un peso non superiore a 10 kg/m. Non è ammesso l'utilizzo delle comuni aste di perforazione per condurre la prova;
- Campionatore Raymond: si tratta di un tubo campionatore in acciaio indurito con superfici lisce, apribile longitudinalmente di dimensioni standard, dotato di valvola a sfera e aperture di scarico a sfiato nell'estremità superiore, la scarpa aperta del campionatore è costituita da acciaio indurito e deve essere riparata o sostituita quando è sbeccata o distorta;
- Punta conica chiusa: in presenza di strati di terreno con ghiaia la scarpa aperta del campionatore Raymond potrà essere sostituita da una punta conica chiusa di dimensioni standard.

Il numero di colpi necessario per infiggere il campionatore per la lunghezza predefinita può essere valutato visivamente o per mezzo di sensori elettrici o meccanici.

 AGENZIA DEL DEMANIO STRUTTURA PER LA PROGETTAZIONE	<i>Elaborato:</i> <i>capitolato tecnico prestazionale</i>	Codifica 03_P-VUL-G	
	<i>Sottosezione:</i> <i>Indagini geognostiche</i>	Revisione 01	Data 13/03/2024

Prima dell'inizio della prova dovrà essere verificato il buono stato di tutta la strumentazione, il foro dovrà essere preparato alla profondità di esecuzione della prova, la base del foro dovrà essere pulita ed indisturbata e l'estrazione degli utensili di perforazione dovrà essere lenta per evitare la decompressione del terreno interessato dalla prova.

La quota del foro dovrà essere verificata con scandaglio confrontandola con quella raggiunta con la manovra di perforazione o di pulizia precedentemente fatta. Se la quota misurata è più alta, per effetto di rifluimenti del fondo o per decantazione di detriti in sospensione nel fluido e se tale differenza supera 7 cm la prova non potrà iniziare e si dovrà procedere ad una ulteriore manovra di pulizia.

Se la prova viene eseguita al di sotto del livello piezometrico, il livello del fluido nel foro dovrà essere mantenuto sempre al di sopra del livello idrostatico per assicurare l'equilibrio idraulico alla profondità della prova anche durante la fase di estrazione del campionatore.

L'estrazione del campionatore dovrà essere eseguita lentamente in maniera da prevenire effetti di suzione sul fondo. Nel caso di utilizzo di rivestimento, esso non dovrà essere spinto al di sotto del livello su cui verrà poi eseguita la prova.

Le prove devono essere effettuate entro fori di diametro compreso tra 60 e 150 mm, il campionatore per mezzo delle aste va calato all'interno del foro alla quota della prova e l'eventuale penetrazione iniziale del campionatore nel terreno va annotata e, in accordo con le Raccomandazioni AGI, va considerata già come parte integrante dei 150 mm di infissione preliminare del campionatore.

Una volta posizionato, il campionatore deve essere infisso, con un ritmo di battuta di circa 20-30 colpi al minuto, per 3 tratti consecutivi di 150 mm determinando il numero di colpi della massa battente necessario per la penetrazione di ciascun tratto di 150 mm.

La penetrazione dei primi 150 mm viene definita avanzamento iniziale o preliminare e il numero di colpi necessario per superare questo tratto viene definito N_0 ; la somma del numero di colpi necessari all'attraversamento del secondo e terzo tratto rappresenta il valore della resistenza alla penetrazione N_{SPT} . In accordo con la normativa europea UNI EN ISO 22476-3, la prova potrà ritenersi conclusa nel caso in cui il numero di colpi N_{SPT} superi i 100 colpi e se la penetrazione di 300 mm non viene raggiunta deve essere registrata la penetrazione ottenuta con i suddetti 100 colpi.


L'avanzamento preliminare potrà ritenersi inoltre concluso qualora, prima di raggiungere la penetrazione di 150 mm, venisse raggiunto un numero di colpi pari a 25. In tal caso dovrà essere annotata la penetrazione raggiunta con i 25 colpi e la prova sul secondo tratto potrà iniziare a partire da tale profondità.

Il materiale contenuto nel campionatore, dopo l'esecuzione della prova, deve essere gestito in accordo con quanto definito nel capitolo relativo ai campionamenti.

4.1.1.2 Output

Nel Rapporto tecnico dovrà essere presente un apposito paragrafo sulle prove eseguite in foro e nello specifico per le prove SPT, lo stesso dovrà riportare i seguenti elementi minimi:

- informazioni generali sul cantiere, quota e ubicazione della verticale di prova;
- caratteristiche della strumentazione;
- quota della tubazione di rivestimento del foro;
- quota raggiunta con la manovra di perforazione o pulizia;
- quota del fondo foro (= quota inizio prova);
- affondamento per peso proprio delle aste e della testa del campionatore;

 AGENZIA DEL DEMANIO STRUTTURA PER LA PROGETTAZIONE	Elaborato: <i>capitolato tecnico prestazionale</i>	Codifica 03_P-VUL-G	
	Sottosezione: <i>Indagini geognostiche</i>	Revisione 01	Data 13/03/2024

- g) numero di colpi per infissione di ciascuno dei tre tratti di 150 mm (o penetrazione misurata una volta raggiunto il limite dei colpi);
- h) lunghezza e descrizione litologica del campione estratto;
- i) profondità dell'eventuale falda rinvenuta;
- j) grafico NsPT in funzione della profondità;
- k) eventuali annotazioni dell'operatore e data di esecuzione;
- l) repertorio fotografico.

4.1.2 Prove di permeabilità tipo Lugeon

La prova di permeabilità Lugeon è un'indagine geotecnica che si esegue in sito, in foro di sondaggio, durante le fasi di perforazione in roccia. La prova si esegue iniettando dell'acqua in pressione entro un tratto isolato di foro di sondaggio, perforato in terreni litoidi, misurando i volumi assorbiti a diverse pressioni. La stessa viene utilizzata per indagare:

- proprietà idrauliche dell'ammasso roccioso;
- capacità di assorbimento dell'ammasso roccioso;
- spessore dell'ammasso roccioso;
- infiltrazione effettiva;
- comportamento geo-meccanico.

La prova può essere eseguita durante le fasi di avanzamento della perforazione o in risalita al termine della terebrazione. Nella prova in avanzamento l'isolamento del tratto di prova avverrà utilizzando un unico otturatore, mentre nel caso di prova in risalita l'isolamento dovrà essere garantito da un otturatore doppio.


La prova potrà essere eseguita sopra o al di sotto del livello di falda e in fori di sondaggio di diverse inclinazioni e diversi diametri.

4.1.2.1 Strumentazione e modalità esecutive

L'attrezzatura minima necessaria per la corretta esecuzione della prova è la seguente: pompa centrifuga o multistadio;

- cisterna idonea per l'apporto di acqua;
- tubazione idonea;
- otturatore singolo o doppio;
- valvola di arresto lungo la tubazione al di sopra del tratto di prova;
- strumenti per la misurazione della pressione (manometri);
- valvola di regolazione della pressione immessa (sensibilità di 0,05 Mpa e certificato di taratura);
- bombola di aria compressa o dispositivo di gonfiaggio tramite fluido;
- strumenti per la misurazione dei volumi, portate e flussi preferibilmente digitali (di accuratezza idonea in relazione alla portata immessa);
- eventuale trasduttore di pressione;
- eventuale sistema di registrazione dei dati in caso di registrazione automatica della prova.

Se la registrazione dei dati avvenisse manualmente, si consiglia l'utilizzo di due manometri e due conta-litri di diversa accuratezza. Si consiglia l'utilizzo di una pompa a pressione controllata, con una capacità di immissione di 150 l/min. La scelta della lunghezza della camera dell'otturatore dipende dalle caratteristiche del foro. In generale, si consiglia una lunghezza della camera di espansione dell'otturatore 10 volte maggiore

 AGENZIA DEL DEMANIO STRUTTURA PER LA PROGETTAZIONE	Elaborato: <i>capitolato tecnico prestazionale</i>	Codifica 03_P-VUL-G	
	Sottosezione: <i>Indagini geognostiche</i>	Revisione 01	Data 13/03/2024

della larghezza del foro e una lunghezza minima di 0,5 metri. La pressione minima di gonfiaggio dell'otturatore sarà funzione del valore di ciascun gradino di carico effettuato e dal tipo di fluido, gas o liquido, utilizzato per il suo gonfiaggio.

Sarà cura dell'appaltatore verificare la corretta calibrazione e funzionalità di tutta la strumentazione utilizzata durante la prova.

Il conta-litri dovrà essere tarato in sito, prima di iniziare le prove, riempiendo un contenitore di volume noto superiore a 100 litri.

Durante la prova si dovrà tener conto delle perdite di carico di natura statica e di natura dinamica. Quelle di natura statica dipendono dal carico idraulico esistente all'interno del foro e dal peso del fluido nella tubazione, mentre quelle dinamiche dipendono dall'attrito che si genera lungo la tubazione e sono principalmente funzione dalle caratteristiche reologiche ed idrodinamiche del fluido, materiale, diametro e rugosità della tubazione.

Le perdite di carico dinamiche, in assenza di un circuito indipendente di misura delle pressioni, saranno valutate in sito con il metodo di un tubo campione posto orizzontalmente in superficie e collegato alla pompa con l'interposizione del manometro.

Prima dell'esecuzione della prova, si dovrà provvedere alla pulizia del foro e dovrà essere nota:

- la profondità di esecuzione della prova;
- le caratteristiche litologiche;
- la lunghezza del tratto oggetto della prova;
- numero e durata dei gradini di pressione;
- la pressione massima effettiva raggiungibile durante la prova.

Per minimizzare le perdite di pressione nell'intorno dell'otturatore, durante la prova, dovranno essere utilizzati i seguenti accorgimenti:

- la perforazione dovrà essere eseguita in maniera tale da preservare il diametro del foro costante e generare una superficie liscia ed uniforme sulle pareti dello stesso;
- la camera di espansione dell'otturatore dovrà essere costituita da materiale flessibile e di una lunghezza tale da permettere un contatto omogeneo con la parete del foro.

L'otturatore sarà espanso fino ad isolare il tratto finale del foro per una lunghezza compresa tra meno di 1m e fino a 5 metri.


La lunghezza del tratto da provare può comunque variare in funzione della permeabilità della roccia; in generale la lunghezza del tratto di prova sarà $\geq 5D$ dove D è il diametro del foro.

Successivamente all'installazione dell'otturatore, con la valvola per l'ingresso dell'acqua chiusa, si dovrà misurare e registrare la pressione nel tratto di foro oggetto della prova.

Si procederà ad iniettare nel tratto di prova, eseguendo 3 (o più) diversi gradini di pressione in salita e ripetendo gli stessi primi 2 gradini in discesa, misurando per ciascun gradino le portate assorbite che determinano la stabilizzazione dell'assorbimento raggiunto.

Durante l'esecuzione della prova dovranno essere registrati, con cadenza temporale definita, i valori di pressione, di portata, ed il quantitativo di acqua immessa. Si dovrà provvedere a tarare i valori di pressione e di portata nel range di valori del gradino prestabilito.

Un aumento significativo della portata rispetto ai valori di pressione registrati, potrebbe dare indicazione di eventi di fratturazione o di dilatazione indotta dalla prova. Al contrario

 AGENZIA DEL DEMANIO STRUTTURA PER LA PROGETTAZIONE	Elaborato: <i>capitolato tecnico prestazionale</i>	Codifica 03_P-VUL-G	
	Sottosezione: <i>Indagini geognostiche</i>	Revisione 01	Data 13/03/2024

una diminuzione della portata rispetto ai valori registrati di pressione, potrebbe dare indicazioni della instaurazione di un flusso turbolento nel tratto di roccia interessata dalla prova.

Si dovrà avere cura di acquisire tutti i dati succitati, per ogni gradino, fino al raggiungimento di una condizione di equilibrio (pressione e portata costanti nel tempo). Nell'eventualità si raggiungessero in tempi brevi le condizioni di equilibrio, il gradino dovrà essere mantenuto per almeno 10 minuti, in salita e in discesa, dopo il raggiungimento delle condizioni di regime. Se non si raggiungessero i valori di equilibrio, si potranno interrompere le misure, quando le variazioni di pressione e di portata saranno inferiori del 5% per min o una volta superati 30 min dall'inizio del gradino.

Le misure dovranno essere effettuate automaticamente e dovranno essere registrate ogni 5 secondi; in accordo con l'Ente, le misure potranno essere effettuate manualmente e si dovrà procedere ad eseguire le letture ogni minuto.

Se le letture verranno effettuate manualmente, la lunghezza della tubazione, dalla sezione oggetto della prova al manometro di lettura, dovrà essere inferiore a 30 metri.


L'eventuale installazione di un trasduttore di pressione in corrispondenza dell'otturatore per determinare eventuali perdite di carico al sistema, dovrà essere preventivamente autorizzato da Ente; qualora fosse autorizzato, si dovrà comunque provvedere ad installare in superficie un manometro di controllo.

4.1.2.2 Output

Il report di campagna dovrà essere sempre disponibile e consultabile in cantiere.

Il Rapporto tecnico di indagine dovrà contenere, per ogni prova eseguita, le seguenti informazioni:

- le modalità esecutive della prova;
- le caratteristiche della strumentazione utilizzata e modalità di calibrazione;
- nominativo del sondaggio, log stratigrafico, quota e ubicazione con rilievo GPS;
- metodo di perforazione, inclinazione e orientazione del sondaggio;
- profondità di esecuzione della prova (quota del top e bottom della sezione);
- condizioni climatiche;
- profondità dell'otturatore;
- pressione usata per gonfiare la camera dell'otturatore;
- i dati della pressione dei gradini in funzione del tempo;
- i dati del volume di acqua immesso (letture del conta-litri) in funzione del tempo;
- i dati della portata dei gradini in funzione del tempo;
- il totale dell'acqua utilizzata per l'esecuzione della prova;
- lunghezza della sezione oggetto di prova;
- tempo di durata dei singoli gradini e della prova;
- livello piezometrico prima e dopo l'esecuzione della prova;
- anomalie o interferenze durante l'esecuzione della prova;
- scansione della scheda di campo utilizzata per l'esecuzione della prova;
- digitalizzazione dei dati registrati durante la prova;
- grafico portate/pressioni al manometro;
- definizione delle perdite di carico statiche;
- ricostruzione delle curve per la stima delle perdite di carico dinamiche;
- grafico portate/pressioni effettive;
- report fotografico;

	Elaborato: <i>capitolato tecnico prestazionale</i>	Codifica 03_P-VUL-G	
	Sottosezione: <i>Indagini geognostiche</i>	Revisione 01	Data 13/03/2024

- assorbimento per ciascun gradino espresso in Unità Lugeon UL (dove 1 UL = portata di 1 litro/min/m a 1 MPa);
- calcolo della permeabilità, specificando l'algoritmo ed i parametri adottati;
- copia dei certificati di taratura di data non anteriore di sei mesi alla data di prova.

5. Prove di Laboratorio Geotecnico: Scopo e campo di applicazione

La presente sezione è parte integrante del “Capitolato speciale d'appalto - sezione tecnica” e disciplina le PROVE DI LABORATORIO GEOTECNICO SULLE TERRE E SULLE ROCCE. Le prove di laboratorio geotecnico hanno lo scopo di descrivere le caratteristiche fisiche e geomeccaniche dei terreni per una corretta valutazione dell'interazione struttura-terreno e nell'ambito delle analisi geodinamiche.

I campioni indisturbati prelevati in corso di perforazione dovranno essere analizzati presso laboratori geotecnici autorizzati, mediante prove atte alla caratterizzazione fisicotecnica del terreno.

I campioni, accompagnati da opportuni documenti di trasporto, dovranno essere conservati in ambiente

idoneo in attesa che vengano sottoposti alle analisi e prove.

Sarà compito del geologo o dell'ingegnere geotecnico responsabile identificare opportunamente le profondità di prelievo confacenti alle esigenze degli interventi di progetto. Tali profondità dovranno essere indicate nel programma di perforazione da sottoporre alla Stazione Appaltante per l'approvazione.

Le prove dovranno eseguirsi in laboratori certificati ai sensi del D.P.R. 380/2001, art. 59, e della Circolare n. 7618/STC dell'08/09/2010.

6. Determinazione delle caratteristiche fisiche e chimiche delle terre

6.1 Apertura del campione


Le informazioni inerenti il campione devono essere annotate su appositi moduli di laboratorio in modo tale che sia sempre identificabile il sondaggio, la profondità di prelievo, la data.

Al momento dell'apertura dovrà essere eseguito l'esame qualitativo preliminare del campione, la sua descrizione litologica e la determinazione della consistenza con penetrometro e scissometro tascabili.

Una volta estruso il campione dalla fustella con la tecnica più adatta in modo da minimizzare il disturbo, si deve creare una zona piana mediante apposito utensile per le prove con penetrometro e vane test e dovranno essere descritte eventuali anomalie presenti (rammollimenti, essiccamenti, inclusi organici, fossili, fanghi di perforazione, rimescolamenti).

Le parti omogenee vanno descritte ed evidenziate con schizzi o foto con riferimento alle raccomandazioni AGI. Dall'esame dovranno risultare quindi le dimensioni dei granuli, il grado di arrotondamento, l'assortimento, la forma, il colore, l'odore, la reazione all'acido cloridrico, livelli, lenti, laminazioni, vene di ossidazione.

Riferimenti normativi:

 AGENZIA DEL DEMANIO STRUTTURA PER LA PROGETTAZIONE	Elaborato: <i>capitolato tecnico prestazionale</i>	Codifica 03_P-VUL-G	
	Sottosezione: <i>Indagini geognostiche</i>	Revisione 01	Data 13/03/2024

- UNI-EN-ISO 14688-1 (2018). Indagini e prove geotecniche - Identificazione e classificazione dei terreni - Parte 1: Identificazione e descrizione;
- UNI-EN-ISO 14688-2 (2018). Indagini e prove geotecniche - Identificazione e classificazione dei terreni - Parte 2: Principi per una classificazione;

6.2 **Determinazione del contenuto naturale in acqua.**

Riferimenti normativi:

_ UNI CEN ISO/TS 17892-1 (2015). Indagini e prove geotecniche - Prove di laboratorio sui terreni – Parte 1: Determinazione del contenuto in acqua

6.3 **Determinazione del peso di volume mediante fustella tarata.**

Riferimenti normativi:

_ UNI CEN ISO/TS 17892-2 (2015). Indagini e prove geotecniche - Prove di laboratorio sui terreni – Parte 2: Determinazione della massa volumica dei terreni a grana fine

6.4 **Determinazione del peso di volume reale dei granuli con picnometro.**

Riferimenti normativi:

_ UNI CEN ISO/TS 17892-3 (2016). Indagini e prove geotecniche - Prove di laboratorio sui terreni – Parte 3: Determinazione della massa volumica dei granuli solidi - Metodo del Picnometro

6.5 **Determinazione dei limiti di Atterberg.**

Riferimenti normativi:

_ UNI EN ISO 17892-12 (2018). Indagini e prove geotecniche - Prove di laboratorio sui terreni - Parte 12: Determinazione dei limiti liquidi e plastici.

6.6 **Determinazione del limite di ritiro.**

Riferimenti normativi:

_ ASTM D4943-18. Standard Test Method for Shrinkage Factors of Cohesive Soils by the Water Submersion Method.

6.7 **Analisi granulometrica meccanica eseguita mediante setacci.**


Riferimenti normativi:

_ UNI CEN ISO/TS 17892-4 (2017). Indagini e prove geotecniche - Prove di laboratorio sui terreni - Parte 4: Determinazione della distribuzione granulometrica.

6.8 **Analisi granulometrica per sedimentazione col metodo del densimetro o della pipetta**

Analisi granulometrica per sedimentazione secondo il metodo del densimetro o della pipetta, esclusa la determinazione della massa volumica reale dei granuli.

Riferimenti normativi:

 AGENZIA DEL DEMANIO STRUTTURA PER LA PROGETTAZIONE	Elaborato: <i>capitolato tecnico prestazionale</i>	Codifica 03_P-VUL-G	
	Sottosezione: <i>Indagini geognostiche</i>	Revisione 01	Data 13/03/2024

_ UNI CEN ISO/TS 17892-4 (2017). Indagini e prove geotecniche - Prove di laboratorio sui terreni - Parte 4: Determinazione della distribuzione granulometrica.

6.9 Prova di permeabilità mediante permeametro a carico costante o variabile

Riferimenti normativi:

_ UNI EN ISO 17892-11 (2019). Indagini geotecniche e prove - Prove di laboratorio sulle terre - Parte 11: Prove di permeabilità.

6.10 Determinazione del contenuto in carbonati.

Riferimenti normativi:

_ ASTM D4373 -14. Standard Test Method for Rapid Determination of Carbonate Content of Soils.

6.11 Determinazione del contenuto in sostanze organiche


Riferimenti normativi:

_ ASTM D2974-20. Standard Test Methods for Determining the Water (Moisture) Content, Ash Content, and Organic Material of Peat and Other Organic Soils

6.12 Determinazione del pH con il metodo colorimetrico o con pH-metro

Riferimenti normativi:

_ ASTM D4972-19. Standard Test Method for pH of Soils.

	Elaborato: <i>capitolato tecnico prestazionale</i>	Codifica 03_P-VUL-G	
	Sottosezione: <i>Indagini geognostiche</i>	Revisione 01	Data 13/03/2024

7. Prove meccaniche sulle terre

7.1 Prova di compressione ad espansione laterale libera (ELL)

Si richiede il rilievo delle curve sforzi/deformazioni su un provino di diametro da 35 a 100 mm compresa la determinazione del contenuto in acqua e del peso di unit  di volume iniziali

Riferimenti normativi

_ UNI EN ISO 17892-7 (2018). Indagini e prove geotecniche - Prove di laboratorio sui terreni - Parte 7: Prova di compressione non confinata.

7.2 Prova di taglio diretto con scatola di Casagrande

Si richiede di effettuare la prova su tre provini con rilievo delle deformazioni verticali e delle curve sforzi/deformazioni trasversali nonch  determinazione per ogni provino del contenuto in acqua e del peso di unit  di volume iniziali e finali

Riferimenti normativi

_ UNI EN ISO 17892-10 (2019). Indagini e prove geotecniche - Prove di laboratorio sulle terre - Parte 10: Prove di taglio diretto.

7.3 Prova di taglio con apparecchio anulare per la determinazione della resistenza residua

Si richiede di effettuare la prova su tre provini con rilievo delle deformazioni verticali e delle curve sforzi/deformazioni nonch  determinazione, per ogni provino, del contenuto in acqua e del peso di unit  di volume iniziali e finali

Riferimenti normativi

_ UNI EN ISOS 17892-10 (2019). Indagini e prove geotecniche - Prove di laboratorio sulle terre - Parte 10: Prove di taglio diretto.

7.4 Prova di taglio con scissometro da laboratorio (Vane Test)

Si richiede di effettuare la prova su un provino, compresa la determinazione della resistenza al taglio residua.


Riferimenti normativi

_ ASTM D4648/D4648M-16 Standard Test Methods for Laboratory Miniature Vane Shear Test for Saturated Fine-Grained Clayey Soil

7.5 Prova di compressione triassiale

Si richiede che la prova venga eseguita su tre provini con rilievo di tutti i diagrammi necessari per l'interpretazione dei risultati

Riferimenti normativi

 AGENZIA DEL DEMANIO STRUTTURA PER LA PROGETTAZIONE	Elaborato: <i>capitolato tecnico prestazionale</i>	Codifica 03_P-VUL-G	
	Sottosezione: <i>Indagini geognostiche</i>	Revisione 01	Data 13/03/2024

_ UNI EN ISO 17892-8:2018. Indagini e prove geotecniche - Prove di laboratorio sui terreni - Parte 8: Prova triassiale non consolidata non drenata.

_ UNI EN ISO 17892-9:2018. Indagini e prove geotecniche - Prove di laboratorio sui terreni - Parte 9: Prove di compressione triassiale consolidate su terreni saturi.

7.6 Prova di compressione edometrica

Si richiede che la prova venga eseguita su campioni indisturbati secondo uno schema di carico e scarico stabilito dall'Ente.

Il coefficiente e_{ed} dovrà essere calcolato per ogni intervallo di carico, mentre la determinazione dei coefficienti "CV" e "K" verrà eseguita su tre intervalli di carico da scegliersi in base alle tensioni litostatiche esistenti e ai sovraccarichi da applicare, salvo diversa indicazione dell'Agenzia del Demanio. La determinazione del "T50" (o "T90") e della pressione massima di consolidazione dovrà essere riportata rispettivamente sui grafici abbassamenti/log T e indice dei vuoti/log p.

Riferimenti normativi

_ UNI CEN ISO 17892-5 (2017). Indagini e prove geotecniche - Prove di laboratorio sui terreni - Parte 5. Prova edometrica ad incrementi di carico

7.7 Determinazione della pressione di rigonfiamento (ISP) in cella edometrica

Riferimenti normativi

_ UNI EN ISO 17892-5 (2017). Indagini e prove geotecniche - Prove di laboratorio sui terreni - Parte 5. Prova edometrica ad incrementi di carico.

7.8 Determinazione della deformazione di rigonfiamento in cella edometrica (ISS)

Riferimenti normativi

_ UNI EN ISO 17892-5 (2017). Indagini e prove geotecniche - Prove di laboratorio sui terreni - Parte 5. Prova edometrica ad incrementi di carico.

7.9 Determinazione del coefficiente di spinta a riposo k_0


Riferimenti normativi

_ Secondo S.T. for Engineers T. William Lambe.

7.10 Colonna risonante

La prova di colonna risonante, il cui scopo è quello di determinare le leggi di decadimento della rigidezza e di incremento del fattore di smorzamento, utilizza un provino cilindrico di terreno consolidato isotropicamente, vincolato alla base e sollecitato all'estremità libera, mediante l'applicazione di un momento torcente ciclico a frequenze crescenti. Si determinano in questo modo:

- Frequenza di risonanza
- Velocità delle onde di taglio V_s
- Modulo di taglio G
- Deformazione di taglio γ
- Rapporto di smorzamento D

	Elaborato: <i>capitolato tecnico prestazionale</i>	Codifica 03_P-VUL-G	
	Sottosezione: <i>Indagini geognostiche</i>	Revisione 01	Data 13/03/2024

I carichi, applicati in successione di valore crescente a mezzo di attuatori elettromagnetici, sono variabili con legge sinusoidale e frequenze elevate. E in tal modo possibile raggiungere le condizioni di risonanza per l'insieme costituito dal provino di terreno e dal sistema utilizzato per l'applicazione dei carichi.

Durante la prova si misurano la frequenza di risonanza, la deformazione angolare indotta nel provino, le variazioni di volume e delle pressioni neutre.

Dalla frequenza di risonanza è possibile determinare la velocità di propagazione delle onde di taglio V_s e quindi il modulo di taglio G_s .

Dalla misura delle deformazioni angolari del provino si ricava la deformazione tangenziale γ .

Infine, il rapporto di smorzamento D si determina con metodo "half power method" o con metodo "free decay method".

Riferimenti normativi

ASTM D4015-15e1 - Standard Test Methods for Modulus and Damping of Soils by Fixed-Base Resonant Column Devices.

7.11 Taglio torsionale ciclico

Nella prova di taglio torsionale ciclico i provini cilindrici sono sollecitati in condizioni di taglio semplice sovrapponendo ad uno stato di tensione efficace isotropo una coppia torcente variabile nel tempo con legge periodica a frequenza costante e predeterminata, ripetendo più serie di cicli con ampiezze via via crescenti. Spesso tra ogni serie di cicli è interposta una fase di consolidazione.

Le prove consentono di misurare la rigidità a piccole e medie deformazioni e le leggi di decadimento del modulo di taglio e del rapporto di smorzamento.

Dall'interpretazione dei risultati ottenuti con i vari cicli di scarico e ricarico, a mezzo dei relativi parametri equivalenti di rigidità al taglio (G_s), del fattore di smorzamento (D), e della deformazione tangenziale γ si interpreta il comportamento dinamico del campione di terreno sottoposto a prova.

Le finalità della prova sono:

- determinazione di G_0 e D_0 (per $\gamma < \gamma_l$)
- determinazione di $G(\gamma)$, $D(\gamma)$ (per $\gamma < \gamma_v$)

Riferimenti normativi


ASTM D 4015-15e1 - Standard Test Methods for Modulus and Damping of Soils by Fixed-Base Resonant Column Devices.

8. Determinazione delle caratteristiche fisiche e chimiche delle rocce

8.1 Determinazione del tenore in silice

La determinazione del tenore in silice dovrà essere effettuata su campioni di roccia preventivamente frantumati e polverizzati. Il metodo prevede la disaggregazione mediante fusione alcalina e solubilizzazione acida delle perle di fusione.

Il contenuto in silice deve essere poi determinato per via gravimetrica.

	Elaborato: capitolato tecnico prestazionale	Codifica 03_P-VUL-G	
	Sottosezione: Indagini geognostiche	Revisione 01	Data 13/03/2024

Riferimenti normativi

_ UNI EN ISO 20565-1:2009. Analisi chimica dei prodotti refrattari e delle materie prime contenenti cromo (metodo alternativo al metodo di fluorescenza a raggi X) - Parte 1: Apparecchiatura, reagenti, dissoluzione e determinazione del tenore di silice per gravimetria

_ UNI EN ISO 10058-1:2009. Analisi chimica dei prodotti refrattari di magnesite e dolomite (metodo alternativo al metodo di fluorescenza a raggi X) - Parte 1: Apparecchiatura, reagenti, dissoluzione e determinazione del tenore di silice per gravimetria

_ UNI EN ISO 21587-1:2007. Analisi chimica dei prodotti refrattari di alluminosilicati (alternativo al metodo per fluorescenza ai raggi X) - Parte 1: Apparato, reagenti, dissoluzione e tenore della silice per gravimetria

8.2 Determinazione del tenore in carbonati totali

Riferimenti normativi:

_ ASTM D4373-14. Standard Test Method for for Rapid Determination of Carbonate Content of Soils.

8.3 Analisi petrografica mediante determinazione microscopica su sezione sottile

Scopo dell'analisi è il riconoscimento dei minerali costituenti la roccia di provenienza e quindi la definizione precisa del litotipo. E inoltre possibile ottenere utili informazioni sull'evoluzione strutturale del litotipo stesso attraverso l'esame dei rapporti reciproci tra i diversi minerali costituenti.

Documenti da consegnare.

Relazione di commento contenente i minerali individuati, le loro caratteristiche e il litotipo di appartenenza, corredata da fotografie a colori eseguite al microscopio polarizzatore su punti significativi della sezione sottile.

Riferimenti normativi:

_ UNI EN 12407:2019. Metodi di prova per pietre naturali - Esame petrografico

8.4 Analisi diffrattometrica su campione di roccia


Scopo dell'analisi è il riconoscimento di quei minerali non facilmente individuabili attraverso l'esame in sezione sottile al microscopio polarizzatore. L'analisi verrà eseguita per i minerali fillosilicatici su polveri a granulometria inferiore ai 2 micron.

A. Preparazione

Dopo aver finemente macinato in un mortaio il materiale, una frazione di questo andrà disperso in una soluzione di acqua distillata con alcune gocce di ammoniaca; dopo agitazione per circa 3 ore e sedimentazione successiva per circa 12 ore, si preleverà la porzione superficiale che verrà centrifugata e lasciata asciugare prima di essere deposta su un vetrino per l'analisi ai raggi x.

B. Esame

Le polveri ottenute secondo la procedura sopra descritta verranno frazionate ed analizzate con tre trattamenti differenti: frazione ottenuta per sola sedimentazione,

 AGENZIA DEL DEMANIO STRUTTURA PER LA PROGETTAZIONE	Elaborato: <i>capitolato tecnico prestazionale</i>	Codifica 03_P-VUL-G	
	Sottosezione: <i>Indagini geognostiche</i>	Revisione 01	Data 13/03/2024

frazione sedimentata e trattata con glicol etilico, frazione sedimentata e riscaldata a 650 °C per 2 ore.

L'analisi consiste nel colpire le polveri da esaminare con un fascio di raggi x monocromatici determinando la dispersione angolare e l'intensità di diffrazione prodotte dalle polveri stesse. Sul diffrattogramma così ottenuto si legge la posizione delle righe di dispersione rispetto al raggio diretto, che è caratteristica di ogni minerale.

Documenti da consegnare.

a) Diffrattogrammi originali;

b) Relazione di commento alla preparazione delle polveri, ai risultati ottenuti ed alla individuazione dei minerali presenti.

8.5 Analisi al microscopio a scansione elettronica (SEM)

L'analisi al microscopio a scansione elettronica consente di integrare i risultati ottenibili con l'analisi petrografica al microscopio ottico in luce polarizzata, in particolare nei casi in cui la roccia sia a grana fine o eterogenea o presenti strutture particolari (ad es. rocce metamorfiche), e può essere effettuata, a seconda delle finalità, solo con il SEM al fine di ottenere informazioni relative alla struttura e alla tessitura della roccia, nonché alla presenza di minerali con forme e dimensioni particolari (ad es. minerali aciculari o fibrosi);

Una analisi petrografica completa prevede quindi l'esecuzione, in successione, delle seguenti determinazioni:

_ valutazione macroscopica del campione, che consente di riconoscere la categoria di roccia, la sua struttura e tessitura, nonché il riconoscimento dei minerali o delle categorie di minerali visibili macroscopicamente; tale analisi consente inoltre di tarare in modo puntuale le eventuali fasi analitiche;

_ analisi al microscopio stereoscopico ottico con luce polarizzata trasmessa, su sezione sottile; tale analisi (condotta di norma con oculari di 10x-20x-30x) consente generalmente di individuare la composizione mineralogica (anche quantitativa), relativamente a ciascun vetrino analizzato (sovente per classificare correttamente una roccia occorrono diversi vetrini);


_ nei casi in cui le analisi macroscopica e microscopica precedentemente citate non siano risolutive (ad es. per rocce a grana fine o molto fine, e/o con strutture e tessiture particolari, e/o chimicamente eterogenee), oppure ci sia la necessità di una maggiore precisione nel quantificare le percentuali relative a ciascun componente mineralogico (in genere fino a > 1%), si dovrà ricorrere ad analisi più sofisticate come l'analisi diffrattometrica delle polveri, utile per rocce in cui la composizione mineralogica non sia particolarmente eterogenea, l'analisi con microscopia elettronica (SEM).

Documentazione e materiale da consegnare

_ sezioni sottili esaminate;

_ foto a colori su carta fotografica lucida, di dimensioni minime 13x18 cm, e relativi file (inseriti nel CD contenente anche il file della Relazione e quelli dei Certificati di analisi). Le foto da produrre sono quelle relative al/ai campionario/i con campioni ed eventuale sigillo, del campione integro (con sigla), degli elementi di campione dopo riduzione (con sigla), delle sezioni sottili (con sigla), del microscopio elettronico (SEM) e di ciascun punto/area analizzata nelle sezioni sottili (sulla foto va riportata la data, una scala indicativa delle lunghezze e l'indicazione dei principali minerali e strutture riconosciuti);

_ Relazione illustrativa delle risultanze delle analisi effettuata, nella quale dovranno essere riportati:


 AGENZIA DEL DEMANIO STRUTTURA PER LA PROGETTAZIONE	Elaborato: <i>capitolato tecnico prestazionale</i>	Codifica 03_P-VUL-G	
	Sottosezione: <i>Indagini geognostiche</i>	Revisione 01	Data 13/03/2024

- a) i certificati di analisi di ciascun campione, con luogo e data dell'analisi, e nominativo, firma e timbro del responsabile del laboratorio e dell'analisi, oltre naturalmente alle risultanze complessive delle analisi;
- b) il Committente delle analisi;
- c) lo scopo/finalità delle analisi effettuate;
- d) la normativa al riferimento (compresa quella ferroviaria: Capitolato, Tariffa, ecc.) per tutte le attività effettuate (campionamento, modalità di analisi, ecc.);
- e) modalità di preparazione dei provini analizzati;
- f) attrezzatura impiegata (marca o produttore, modello, principali caratteristiche tecnico-funzionali);
- g) modalità di analisi;
- h) numero punti del provino scansionati (descrizione di ciascun punto) e numero di provini esaminati per ogni campione originario;
- i) la composizione mineralogica del/i campione/i, sia a livello qualitativo (con indicazione per quanto possibile delle specie mineralogiche e non solo del gruppo o serie di appartenenza) che quantitativo (per quest'ultima fino ai componenti presenti nel campione/i in misura > all'1%), e relativa classificazione della roccia; nel caso in cui lo scopo dell'analisi sia quello di valutare l'appartenenza o meno del campione alle "Pietre verdi", di cui al D.M. n. 178 del 14/5/1996, la classificazione dovrà riferirsi alla nomenclatura indicata nel D.M. medesimo e l'analisi quantitativa, in caso di presenza di pietre verdi, dovrà riportare un limite di quantificazione almeno pari a 0,01%;
- j) la struttura e tessitura della roccia del campione;
- k) l'evoluzione geologica della composizione litologica del materiale costituente il campione (se riconoscibile: es. composizione dei clasti di una roccia sedimentari, evoluzione litologica di una roccia metamorfica, ecc.);
- l) i diagrammi di Schmidt equi-areali (qualora possibile), con proiezione sull'emisfero inferiore delle orientazioni delle principali strutture rilevate sul campione (fratture mineralizzate e non, foliazione, stratificazione, clivaggio, ecc.), nonché le dimensioni di tali strutture (spessori, estensioni, forma) e disposizione e dimensioni delle componenti mineralogiche in relazione alle medesime strutture;
- m) la Relazione con le risultanze delle analisi dovrà contenere anche le risultanze di eventuali altre tipologie analisi condotte ed un confronto fra le risultanze ottenute;
- n) la classificazione e nomenclatura della roccia costituente il/i campione/i, dovrà sempre ricavarsi sia dalla valutazione delle facies mineralogiche (analisi qualitativa), e loro struttura e tessitura, che da una valutazione quantitativa delle componenti mineralogiche; la classificazione adottata per la nomenclatura della roccia dovrà essere sinteticamente descritta e riportata in bibliografia, in ogni caso si dovranno prioritariamente utilizzare le classificazioni ufficiali (per le "Pietre verdi" quella del D.M. 178 del 14/05/1996) ed indicarne la provenienza (Autore/i, ente o università con data di pubblicazione);
- o) il/i sito/i di provenienza del/i campione/i, le coordinate di riferimento del sito di prelievo del/dei campione/i ed una eventuale mappa di ubicazione.

Riferimenti normativi

- _ UNI EN 932-3 (2004). Procedura e terminologia per la descrizione petrografica semplificata
- _ UNI EN 13925-1 (2006). Prove non distruttive - Diffrazione ai raggi x dai materiali policristallini e amorfi - Parte 1: Principi generali.
- _ UNI EN 13925-1 (2006). Prove non distruttive - Diffrazione ai raggi x dai materiali policristallini e amorfi - Parte 2: Procedure.

Via Barberini, 38 – 00187 Roma – Tel. 06/42367322
 e-mail: dg.strutturaprogettazione@agenziademanio.it
 pec: StrutturaProgettazione@pce.agenziademanio.it

	Elaborato: <i>capitolato tecnico prestazionale</i>	Codifica 03_P-VUL-G	
	Sottosezione: <i>Indagini geognostiche</i>	Revisione 01	Data 13/03/2024

_ UNI EN 13925-1 (2006). Prove non distruttive - Diffrazione ai raggi x dai materiali policristallini e amorfi

9. Prove meccaniche sulle rocce

9.1 Taglio di provini prismatici

I campioni dovranno avere dimensioni max cm 20 di lato, da blocchi informi di roccia o da spezzoni di carota di roccia. Al taglio dei provini prismatici devono necessariamente fare seguito la spianatura e la rettifica degli stessi, e la successiva misura scrupolosa delle dimensioni ottenute. Senza tali operazioni, i risultati di qualsiasi prova a cui verranno sottoposti i provini verranno considerati inattendibili.

9.2 Carotaggio di provini cilindrici da blocchi informi di roccia o da spezzoni di carota di roccia

Al taglio dei provini cilindrici devono necessariamente fare seguito la spianatura e la rettifica degli stessi, e la successiva misura scrupolosa delle dimensioni ottenute. Senza tali operazioni, i risultati di qualsiasi prova a cui verranno sottoposti i provini verranno considerati inattendibili.

Riferimenti normativi:

_ ASTM D4543-19. Standard Practices for Preparing Rock Core as Cylindrical Test Specimens and Verifying Conformance to Dimensional and Shape Tolerance.

9.3 Spianatura e rettifica di provini cilindrici o prismatici di roccia

Riferimenti normativi

_ ASTM D4543-19. Standard Practices for Preparing Rock Core as Cylindrical Test Specimens and Verifying Conformance to Dimensional and Shape Tolerances .

9.4 Prova di compressione monoassiale su provini di roccia cilindrici o prismatici

Si richiede la determinazione della deformabilità orizzontale e verticale (mediante l'applicazione di almeno 4 estensimetri elettrici) ed il rilievo del comportamento post-rottura del provino.

Riferimenti normativi


_ ASTM D7012-14. Standard Test Methods for Compressive Strength and Elastic Moduli of Intact Rock Core Specimens under Varying States of Stress and Temperatures

9.5 Determinazione delle costanti elastiche dinamiche di provini di roccia

Si richiede l'applicazione degli ultrasuoni utilizzando almeno tre valori diversi di frequenza.

Riferimenti normativi

_ ASTM D2845-08. Standard Test Method for Laboratory Determination of Pulse Velocities and Ultrasonic Elastic Constants of Rock. (Withdrawn 2017)

 AGENZIA DEL DEMANIO STRUTTURA PER LA PROGETTAZIONE	Elaborato: <i>capitolato tecnico prestazionale</i>	Codifica 03_P-VUL-G	
	Sottosezione: <i>Indagini geognostiche</i>	Revisione 01	Data 13/03/2024

9.6 **Determinazione della resistenza a trazione con prova indiretta "Brasiliana"**

Riferimenti normativi

_ Raccomandazioni ISRM (1978). Suggested Method for Determining Indirect Tensile Strength by Brazil Test.

9.7 **Determinazione dell'angolo di attrito di base di una roccia mediante "Tilt Test"**

La prova dovrà essere condotta determinando l'angolo di attrito di base mediante almeno n.5 test di scorrimento su superficie liscia ottenuta mediante semplice intaglio con sega circolare. Le superfici di prova dovranno essere pulite con acqua per rimuovere la polvere del taglio e seccate all'aria.

Per ciascun test dovrà essere determinato il valore dello sforzo normale applicato e l'indice di Schmidt sulla superficie di prova.

Per ciascuna prova dovrà essere redatto un certificato riportante tutte le determinazioni eseguite ed il calcolo del valore medio dell'angolo di attrito di base misurato.

9.8 **Prova di durezza superficiale mediante impiego di sclerometro (martello di Schmidt)**

Riferimenti normativi

_ UNI EN 12504-2 (2012). Prove sul calcestruzzo nelle strutture - Parte 2: Prove non distruttive. Determinazione dell'indice sclerometrico.

9.9 **Determinazione del coefficiente di abrasione "Los Angeles"**

Riferimenti normativi

_ UNI EN 1097-2 (2020). Prove per determinare le proprietà meccaniche e fisiche degli aggregati - Parte 2 - Metodi per la determinazione della resistenza alla frammentazione.

9.10 **Prova di taglio con apparecchio di Hoek lungo giunti lisci o naturali**


La Prova di taglio su giunti di roccia comprende la determinazione della resistenza residua, esclusa la preparazione del provino.

Riferimenti normativi

_ ASTM D5607-16. Standard Test Method for Performing Laboratory Direct Shear Strength Tests of Rock Specimens Under Constant Normal Force

10. **Indagini Geofisiche: Scopo e campo di applicazione**

La presente sezione è parte integrante del "Capitolato speciale d'appalto - sezione tecnica" che disciplina le INDAGINI GEOFISICHE. Queste rappresentano una tecnica di indagine non distruttiva del sottosuolo, che consiste nella misurazione, tramite strumentazione specifica, di alcune proprietà fisiche del terreno.

	Elaborato: capitolato tecnico prestazionale	Codifica 03_P-VUL-G	
	Sottosezione: Indagini geognostiche	Revisione 01	Data 13/03/2024

11. Indagini geosismiche

11.1 Sismica a rifrazione

Il metodo di prospezione sismica a rifrazione misura la velocità di propagazione delle onde sismiche nei terreni mediante allineamenti di geofoni e registrazioni multiple delle onde di compressione e di taglio per ciascun stendimento.

11.1.1 Strumentazione e modalità esecutive

L'attrezzatura per l'acquisizione dei dati dovrà avere le seguenti caratteristiche minime:

- sismografo con un minimo di n. 24 canali, di tipo digitale incrementale, con un intervallo di campionamento di 0,05 - 0,1 - 0,2 - 0,5 msec, mille o più punti di campionamento per traccia sismica; il sismografo dovrà, inoltre, presentare la possibilità di stack degli impulsi sismici, filtri analogici e digitali programmabili (filtri attivi tipo high pass, band pass e band reject, anti-alias), guadagno verticale del segnale (in ampiezza) e sensibilità tra 6 e 99 decibel, registrazione dei dati in digitale per elaborazioni successive con formato in uscita non inferiore a 24 bit.
- geofoni verticali con frequenza propria variabile tra 4.5-40 Hz per il rilievo delle onde di compressione;
- geofoni orizzontali con frequenza propria variabile tra 4,5-14 Hz per il rilievo delle onde di taglio;
- sistema di comunicazione e di trasmissione del "tempo zero" (time-break).
- sistema di energizzazione necessario a generare le onde sismiche, che potrà essere costituito da:
 - martello che lasciato cadere impatti una piastra adesiva e parallela al terreno (onde P);
 - cariche di esplosivo (onde P);
 - fucile o cannone sismico (onde P);
 - energizzatori oleopneumatici e/o gravimetrici trainati e/o trasportati (pendoli);
 - massa battente (mazza 10 kg) agente su un blocco di legno o calcestruzzo adeguatamente ancorato al terreno di forma tale da potere essere colpito lateralmente ad entrambe le estremità (onde S).


Altri dispositivi devono essere preventivamente approvati dall'Ente.

Il rilievo sismico dovrà essere eseguito lungo profili rettilinei con geofoni posti ad inter-distanza fissa in relazione alla profondità di indagine ed al dettaglio di rilievo richiesto dall'Ente. Indicativamente la profondità massima indagata è circa $1/4 \div 1/5$ della lunghezza dei tiri sismici e per ottenere dei risultati ottimali occorre mantenere l'obiettivo della ricerca entro i $2/3$ della profondità massima. Tale indicazione è adeguata sia per l'elaborazione sismica di tipo ordinario che tomografica.

La spaziatura delle stazioni geofoniche è funzione del dettaglio che si vuole ottenere, in particolare nella sismica tomografica.

Per la sismica con acquisizione ordinaria, normalmente si adottano spaziature di $1/2 \div 1/3$ della profondità dell'obiettivo (es. spaziature di 5 m per indagini entro 10 m, spaziature di 10 m per indagini entro 20-50 m e spaziature di 20 m per indagini entro 100 m).

Per ciascun stendimento, costituito da un minimo di 24 geofoni, dovranno essere effettuate almeno cinque (5) registrazioni da altrettanti punti di energizzazione. Dei suddetti tiri tre (3) saranno posizionati all'interno della base (due alle estremità + uno al

 AGENZIA DEL DEMANIO STRUTTURA PER LA PROGETTAZIONE	Elaborato: <i>capitolato tecnico prestazionale</i>	Codifica 03_P-VUL-G	
	Sottosezione: <i>Indagini geognostiche</i>	Revisione 01	Data 13/03/2024

centro) in posizione equidistante e due (2) saranno ubicati all'esterno dello stendimento a distanza tale da garantire la profondità di indagine richiesta.

Nel caso in cui il rilievo sismico interessi profondità superiori a circa 30 m, i tiri non dovranno essere inferiori a sette (7) per ciascuna base sismica dei quali cinque (2 estremità+3) interni e due (2) esterni.

La scelta del metodo di interpretazione dovrà essere condivisa con l'Ente ed operata tenendo conto la geometria del sottosuolo investigato e le problematiche di indagine.

Per la sismica con acquisizione tomografica, indicativamente la spaziatura può variare tra 1/4 ed 1/5 della profondità dell'obiettivo secondo lo schema di massima seguente:

- obiettivo a 10 m: spaziatura= $10/4(5) = 2,5(2,0)$ m
- obiettivo a 100 m: spaziatura= $100/4(5) = 25(20)$ m.

Per ciascun stendimento costituito da un numero minimo di 24 geofoni, i tiri dovranno essere eseguiti mediamente ogni 2÷3 geofoni oltre a quattro tiri esterni per un totale minimo di dodici (12) tiri.

In entrambi i casi (sismica ordinaria o tomografica) non si dovrà superare la spaziatura di 20 m in quanto si inficerebbe l'analisi della porzione superficiale (copertura allentata) la quale può determinare importanti variazioni sia dei parametri elastici del sottosuolo sia degli orizzonti se la sua determinazione è errata.

I tiri estremi dovranno essere ubicati ad una distanza dal primo e dall'ultimo geofono pari alla metà della distanza intergeofonica utilizzata. I tiri esterni, invece, saranno posizionati, compatibilmente con le condizioni logistico-morfologiche, ad una distanza pari alla semilunghezza dello stendimento.


Eventuali diverse geometrie dei tiri devono essere preventivamente approvate dall'Ente. L'elaborazione dei dati, attraverso l'esame dei valori registrati in corrispondenza di ciascuna stazione geofonica, dovrà consentire la definizione dei singoli rifrattori o strati sismici individuati in termini sia di spessore che di velocità delle onde sismiche (longitudinali e/o trasversali).

Ove non si disponga di adeguata cartografia di base che permetta una precisa ubicazione di tutti i punti di misura (geofoni e punti di energizzazione), si dovrà ricorrere ad un rilievo GPS, con precisione di $\pm 0,5$ cm.

11.1.2 Output

Rapporto tecnico di indagine contenente:

- t) Dettagliata descrizione delle operazioni eseguite, i criteri di calcolo e di interpretazione adottati, nonché una sintesi dei risultati ottenuti;
- u) Cartografia in scala adeguata con l'esatta ubicazione degli stendimenti effettuati;
- v) Libretti di campagna e sismogrammi in originale rilegati in fascicolo con le necessarie indicazioni per la loro esatta individuazione sulla cartografia;
- w) Diagrammi "Distanze/Tempi" (Dromocrone), rappresentati con la stessa sequenza e continuità degli stendimenti effettuati, corredati degli eventuali passaggi intermedi dell'elaborazione;
- x) Sezioni Sismo-stratigrafiche in termini di velocità delle onde, in scala adeguata che consenta una buona leggibilità del dato;
- y) Sezioni Tomografiche con elaborazione a celle di velocità o isolinee, in termini di velocità delle onde sismiche, in scala adeguata che consenta una buona leggibilità del dato.

 AGENZIA DEL DEMANIO STRUTTURA PER LA PROGETTAZIONE	Elaborato: <i>capitolato tecnico prestazionale</i>	Codifica 03_P-VUL-G	
	Sottosezione: <i>Indagini geognostiche</i>	Revisione 01	Data 13/03/2024

11.1.3 Riferimenti normativi

ASTM D 5777-95. Standard guide for using the seismic refraction method for subsurface investigation.

11.2 Prospezione sismica con tecnica Down-Hole

La prospezione sismica Down-Hole misura la velocità di propagazione delle onde sismiche di compressione (V_p) e di taglio (V_{SH}) nei terreni all'intorno di un foro di sondaggio. Le misure si eseguono attraverso il rilievo dei tempi di percorrenza di impulsi sismici da una sorgente emettitrice, posta in superficie, ad una o più unità riceventi (geofoni) ubicate all'interno del foro di sondaggio verticale, rivestito con idonea tubazione in PVC o ABS.

11.2.1 Strumentazione e modalità esecutive

Per il rilievo delle onde trasversali la sorgente di energia dovrà garantire la produzione di impulsi sismici idonei a generare onde a prevalente componente di taglio.

La strumentazione di acquisizione dati deve essere di tipo digitale incrementale con le seguenti caratteristiche:


- sismografo con un numero di canali uguale o superiore al numero di ricevitori utilizzati, con capacità di campionamento dei segnali tra 0,025 e 2 msec e dotato di filtri High Pass, Band Pass e Band Reject, di "Automatic Gain Control" e di convertitore A/D del segnale campionato, almeno a 16 bit;
- geofoni da foro triassiali, con frequenza compresa tra 8 e 14 Hz, di diametro minore o uguale a 70 mm da calare nel foro a profondità prefissate in grado di registrare i tempi di arrivo delle onde di compressione e di taglio; ogni ricevitore deve poter essere reso solidale con la tubazione di rivestimento del foro tramite un dispositivo di bloccaggio meccanico, pneumatico e/o elettrico;
- dispositivo di energizzazione per la generazione di onde P ed S, in grado di generare onde elastiche ad alta frequenza ricche di energia, con forme d'onda ripetibili e direzionali cioè con la possibilità di ottenere prevalentemente onde di compressione (P) e/o di taglio polarizzate sul piano orizzontale (SH):
 - fucile o cannoncino sismico;
 - massa battente (mazza da 10 kg) agente su un blocco/trave di legno o calcestruzzo adeguatamente ancorato al terreno e posto nelle adiacenze della bocca foro. La forma del blocco deve essere tale da potere essere colpito lateralmente ad entrambe le estremità.

Altri dispositivi dovranno essere preventivamente approvati dall'Ente.

L'esecuzione della prova la predisposizione di un foro di sondaggio di diametro sufficiente a permettere l'installazione nel foro di un tubo in PVC munito dei necessari complementi per eseguire la cementazione dello stesso da fondo foro verso la superficie. Durante la perforazione si dovrà avere particolare cura ad evitare rifluimenti in colonna e decompressioni del terreno nell'intorno del foro; l'eventuale rivestimento del foro dovrà essere estratto a trazione, senza rotazione della colonna.

In cantiere, prima dell'installazione del tubo in PVC o ABS, si dovrà provvedere a:

- 1) controllare che i tubi non presentino lesioni o schiacciamenti;
- 2) controllare che le estremità dei tubi non presentino irregolarità;

 AGENZIA DEL DEMANIO STRUTTURA PER LA PROGETTAZIONE	Elaborato: <i>capitolato tecnico prestazionale</i>	Codifica 03_P-VUL-G	
	Sottosezione: <i>Indagini geognostiche</i>	Revisione 01	Data 13/03/2024


- 3) verificare l'efficienza del tubo per l'iniezione della miscela di cementazione;
- 4) controllare e preparare i componenti per la realizzazione della miscela di cementazione;
- 5) controllare gli utensili per l'installazione ed in particolare l'efficienza della morsa di sostegno.

I tubi per prove Down-Hole dovranno avere sezione circolare con spessore ≥ 3 mm e diametro interno ≥ 75 mm. I tubi dovranno essere realizzati in PVC/ABS, in spezzoni in genere di 3 m di lunghezza ed assemblati, preferibilmente, mediante filettatura a vite in modo tale da garantire giunti lisci e a perfetta tenuta. In linea di massima la posa in opera dovrà seguire la seguente procedura:

- 1) pulizia accurata della perforazione con acqua pulita;
- 2) pre-assemblaggio dei tubi in spezzoni di lunghezza in genere pari a 6 m con fasciatura delle giunzioni con nastro autovulcanizzante;
- 3) montaggio sul primo spezzone del tappo di fondo e fissaggio del tubo per l'iniezione;
- 4) inserimento del primo tubo predisposto nella perforazione; in presenza di terreni sotto falda si dovrà riempire il tubo con acqua per favorirne l'affondamento;
- 5) bloccaggio del tubo mediante l'apposita morsa in modo che dalla perforazione fuoriesca solamente l'estremità superiore del tubo in PVC/ABS;
- 6) inserimento dello spezzone successivo ed esecuzione delle operazioni di incollaggio e sigillatura del giunto;
- 7) prosecuzione delle operazioni di cui al punto 6) fino al completamento della colonna;
- 8) inizio della cementazione a partire dal fondo foro, a bassa pressione (≈ 2 atm) attraverso il tubo di iniezione. La cementazione deve risultare priva di sacche d'aria o discontinuità confrontando il volume teorico dell'intercapedine tubo/parete foro con il volume della miscela iniettata. Il rivestimento di perforazione dovrà essere estratto non appena la miscela appare in superficie. Nella fase di estrazione del rivestimento il rabbocco di miscela potrà essere eseguito da testa foro anziché attraverso il tubo di iniezione, per mantenere il livello costante a piano campagna; qualora si noti l'abbassamento del livello della miscela il rabbocco dovrà continuare nei giorni successivi;
- 9) nella fase finale della cementazione si dovrà provvedere alla installazione, attorno al tratto superiore di prova, di un tubo di protezione in acciaio o PVC pesante (diametro minimo = 120 mm, lunghezza ≥ 1 m). Il tubo dovrà sporgere di almeno 15 cm dalla sommità del tubo di prova e dovrà essere provvisto di un coperchio in acciaio dotato di lucchetto;
- 10) al termine delle operazioni di cementazione il tubo di prova dovrà essere accuratamente pulito con acqua per eliminare l'eventuale cemento rimasto all'interno della tubazione;
- 11) verifica della direzione e dello scostamento dalla verticale del foro mediante misure clinometriche, se richiesto dall'Ente.

A seguito delle operazioni preliminari su indicate le modalità di esecuzione della prova Down-Hole dovranno seguire la seguente procedura:

- 1) posizionamento e bloccaggio degli energizzatori delle onde di compressione e di taglio in prossimità della bocca pozzo (a qualche metro di distanza dai 2-5 m);
- 2) posizionamento e bloccaggio del ricevitore a fondo foro;
- 3) generazione di un impulso di taglio normale e coniugato con relativa registrazione dei tempi di arrivo delle onde di taglio per verifica dei parametri di acquisizione;
- 4) energizzazione delle onde di compressione e registrazione;

 AGENZIA DEL DEMANIO STRUTTURA PER LA PROGETTAZIONE	Elaborato: <i>capitolato tecnico prestazionale</i>	Codifica 03_P-VUL-G	
	Sottosezione: <i>Indagini geognostiche</i>	Revisione 01	Data 13/03/2024

- 5) energizzazione delle onde di taglio e registrazione;
- 6) riposizionamento del ricevitore 1 metro (o quanto stabilito dall'Ente) più superficiale rispetto a fondo foro e ripetizione delle energizzazioni di compressione e di taglio come sopra;
- 7) ripetizione delle operazioni precedenti lungo tutto il foro interessato dal rilievo sismico.

11.2.2 Output

Rapporto tecnico di indagine contenente:

- a) Dettagliata descrizione della prospezione eseguita, gli algoritmi di calcolo impiegati, i diagrammi con tutte le indicazioni riferibili ai dati misurati o calcolati (tempi di arrivo delle onde P e S, velocità delle onde di P e S per ogni stazione, velocità intervallari delle onde P e S, attenuazione e fattore Q, coefficiente di Poisson dinamico, moduli di elasticità, di taglio e di compressibilità dinamici, tracce sismografiche onde P e S, risultanze finali ed interpretative).
- b) Sismogrammi in originale correlati dalle informazioni necessarie all'identificazione ai tempi di arrivo delle onde P e S nei singoli scoppi.

11.3 Prospezione sismica attiva di superficie del tipo Multichannel Analysis of Surface Waves (M.A.S.W.)


L'indagine geosismica M.A.S.W. (Multichannel Analysis of Surface Waves), è una tecnica attiva multicanale per la generazione e registrazione di onde superficiali, che permette di studiare le proprietà dispersive medie del mezzo lungo l'intero stendimento. Viene utilizzata per la determinazione del profilo di velocità delle onde di taglio (V_s), quindi del parametro V_{s30} e/o la velocità equivalente a cui è associata la categoria di sottosuolo, come richiesto dalla normativa vigente.

11.3.1 Strumentazione e modalità esecutive

La strumentazione di acquisizione dati deve essere di questo tipo:

- sismografo con minimo n. 12 canali, di tipo digitale incrementale, con intervallo di campionamento di 0,03 – 0,06 -0,12 – 0,25 - 0,5- 1 msec, mille o più punti di campionamento per traccia sismica; il sismografo dovrà, inoltre, presentare la possibilità di stack degli impulsi sismici, filtri analogici e digitali programmabili (filtri attivi tipo high pass, band pass e band reject, anti-alias), guadagno verticale del segnale (in ampiezza) e sensibilità tra 6 e 99 decibel, registrazione dei dati in digitale per elaborazioni successive con formato in uscita non inferiore a 24 bit.
- geofoni verticali e orizzontali con frequenza propria di 4,5 Hz per il rilievo delle onde di compressione e di taglio;
- sistema di comunicazione e di trasmissione del "tempo zero";
- martello strumentato di 8/10 kg che lasciato cadere impatta una piastra adesiva e parallela al terreno;

Il rilievo sismico, in accordo con le prescrizioni fornite dall'Ente, dovrà essere eseguito lungo profili rettilinei con geofoni posti ad inter-distanza fissa, o non equi-spaziati nel caso di condizioni complesse con problemi logistici di accesso, con una lunghezza di stendimento appropriata in relazione alla profondità da indagare. Si consiglia di

	Elaborato: capitolato tecnico prestazionale	Codifica 03_P-VUL-G	
	Sottosezione: Indagini geognostiche	Revisione 01	Data 13/03/2024

privilegiare stendimenti sufficientemente lunghi al fine di definire l'andamento della dispersione anche alle basse frequenze.

Preferibilmente, dovranno essere eseguite un minimo di due/tre acquisizioni con due diversi valori di offset (minimo offset 3-5 metri). I tempi di registrazioni dipendono dal tipo di materiale e dalla lunghezza dello stendimento, nella maggior parte dei casi 2 sec sono un valore sufficiente; si consiglia di avere un intervallo di campionamento di 1 ms o 0.5-0,25 ms utile anche all'eventuale studio sulla rifrazione.

Per ciascun stendimento, se si ha la necessità di valutare eventuali variazioni laterali, dovranno essere effettuate due acquisizioni in doppia battuta (stendimento diretto e inverso).

Oltre alla registrazione e analisi della propagazione delle onde di Rayleigh, che possono essere generate da una sorgente a impatto verticale (martellata o caduta di un grave) o da un cannoncino e registrate tramite geofoni a componente verticale, sarà utile e talvolta fondamentale acquisire le onde di Love da analizzare congiuntamente alle Rayleigh per meglio definire il modello e superare le ambiguità interpretative che possono presentarsi sugli spettri di velocità riferite alle onde di Rayleigh.

11.3.2 Output

Rapporto tecnico di indagine contenente:


- ubicazione della verticale di esplorazione;
- posizione, rispetto alla verticale, dei ricevitori e della sorgente;
- descrizione della strumentazione utilizzata;
- segnali registrati dai ricevitori, specificando l'interasse tra i ricevitori e la posizione della sorgente;
- criterio di elaborazione adottato per il calcolo delle velocità e i corrispondenti elaborati;
- dataset di campagna nel dominio offset-tempo;
- rappresentazione dello spettro di velocità nel dominio frequenza-velocità (f-k);
- modellazione e inversione delle curve di dispersione;
- sovrapposizione tra spettro osservato e spettro del modello;
- Profilo Vs;
- Categoria di sottosuolo secondo le Norme Tecniche vigenti.
- Documentazione fotografica.

11.4 Misure di rumore sismico ambientale a stazione singola. Metodo HVSR

L'indagine geosismica oggetto di trattazione si basa essenzialmente sul rapporto spettrale H/V (rapporto di ampiezza fra le componenti spettrali del rumore sismico misurate sul piano orizzontale e verticale) determinabile da microtremori (oscillazioni del suolo indotte da una serie di fattori sia naturali che antropici). La curva HVSR misurata in campagna è il risultato dell'azione congiunta delle onde di Rayleigh e di Love secondo la formula:

$$HVSR(f) = \frac{\sqrt{\alpha H_L(f) + H_R(f)}}{V_R(f)}$$

essendo H_R e V_R il contributo delle onde di Rayleigh sulla componente orizzontale (H) e verticale (V) e H_L il contributo legato alle onde di Love (parametro α).

 AGENZIA DEL DEMANIO STRUTTURA PER LA PROGETTAZIONE	Elaborato: <i>capitolato tecnico prestazionale</i>	Codifica 03_P-VUL-G	
	Sottosezione: <i>Indagini geognostiche</i>	Revisione 01	Data 13/03/2024

Attraverso un sistema di acquisizione composto da un sensore a tre componenti, da un convertitore analogico digitale e da un GPS, si registrano finestre di rumore ambientale dalle quali è possibile elaborare i rapporti H/V.

11.4.1 Strumentazione e modalità esecutive

La strumentazione di acquisizione dati presenta le seguenti specifiche tecniche:

- trasduttori tricomponenti (N-S, E-W, verticale) a bassa frequenza ($< 1\text{-}2\text{ Hz}$);
- amplificatori;
- digitalizzatore;
- durata registrazione: >20 minuti (documento SESAME);
- collegamento al tempo GPS per la referenziazione temporale.


Lo strumento di misura composto da geofoni triassiali orientati secondo una terna di assi cartesiani (si assume la convenzione descritta nelle linee guida del Progetto SESAME secondo la quale l'asse Z corrisponde al geofono verticale, l'asse X e l'asse Y corrispondono rispettivamente al geofono orizzontale orientato nella direzione Est-Ovest e al geofono orizzontale orientato nella direzione Nord-Sud) dovrà essere dotato di bolla sferica per il posizionamento, mentre l'accoppiamento con la superficie dovrà essere diretto o assicurato con piedini o puntazze in terreni morbidi. Si dovrà specificare il tipo di apparecchiatura utilizzata e documentare le condizioni in cui viene registrato il rumore ambientale. Per determinare in maniera corretta il rapporto H/V a una certa frequenza sarà necessario che le curve di risposta dei tre sensori siano a quella frequenza identiche.

Si dovranno effettuare almeno due acquisizioni, preferibilmente una completa da 20 minuti e una seconda di verifica a una ventina di metri di distanza della durata di 10 minuti, e i due dataset devono fornire dati molto simili a meno di significative variazioni laterali (ambito montano collinare). La frequenza di campionamento del dato in campagna dipenderà dallo scopo dell'indagine, per scopi geologici tipicamente sono sufficienti 128-256 Hz. Per quanto riguarda l'orientazione della terna, sul campo bisognerà prestare attenzione dove puntare il nord della terna in modo da valutare eventuali direzionalità del segnale. Bisognerà in tal senso valutare se ci si trova in un'area che è possibile approssimare secondo un modello 1D o se sono evidenti o presumibili variazioni laterali. Appurato questo, il corretto posizionamento della terna dovrà essere fatto tenendo conto di possibili direttività in sorgenti di microtremore dominanti (strade, zone industriali, grandi cantieri).

Per l'elaborazione dei dati si dovrà impiegare un software in grado di consentire la determinazione delle frequenze di risonanza del sottosuolo, mediante la tecnica dei rapporti spettrali secondo le linee guida del progetto europeo SESAME (Site EffectS assessment using Ambient Excitations, 2005). Il metodo non è utilizzabile per la ricostruzione del modello sismostratigrafico del sottosuolo, a meno di una elaborazione congiunta con i risultati di indagini sismiche attive e in presenza di specifiche tarature stratigrafiche.

I principali passi del processing dovranno essere i seguenti:

- 1) suddivisione della finestra di registrazione completa in sotto-finestre di almeno 30 sec.;
- 2) eliminazione delle sotto-finestre eventualmente contenenti transienti;
- 3) FFT (Fast Fourier Transform) incluso il tapering;
- 4) operatore di smoothing;
- 5) merging dei componenti orizzontali;
- 6) H/V Spectral Ratio per ogni sotto-finestra utilizzata;

 AGENZIA DEL DEMANIO STRUTTURA PER LA PROGETTAZIONE	Elaborato: <i>capitolato tecnico prestazionale</i>	Codifica 03_P-VUL-G	
	Sottosezione: <i>Indagini geognostiche</i>	Revisione 01	Data 13/03/2024

- 7) media della curva H/V;
- 8) valutazione della deviazione standard.

Le risultanze dell'elaborazione dovranno essere presentate mediante grafici dei rapporti spettrali H/V delle varie componenti, indicando il massimo del rapporto HVSR nel valore di "fr" (frequenza fondamentale di risonanza) e la sua deviazione standard. I risultati forniti devono essere comprensivi anche degli spettri iniziali non processati, in modo da rendere possibile la valutazione, anche a posteriori, dell'effettiva qualità del rapporto spettrale. È consigliato un confronto dei risultati ottenuti tramite rumore ambientale con le funzioni di trasferimento derivate attraverso l'applicazione di tecniche a singola stazione (H/V) o a stazione di riferimento basate sull'analisi di terremoti, nel caso in cui questi siano disponibili

11.4.2 Output

Rapporto tecnico di indagine contenente:

- a) descrizione delle procedure eseguite (frequenza di campionamento, durata della registrazione);
- b) planimetria con ubicazione della prova e posizionamento dello strumento;
- c) criteri di attendibilità della misura;
- d) Z criteri di validità del picco di fr;
- e) valori di soglia delle condizioni di stabilità;
- f) curve HVSR media con le sue deviazioni standard in tutto l'intervallo di frequenze considerato;
- g) valori di frequenza di picco per tutte le finestre considerando l'intero intervallo di frequenza Z indicazione dei vari picchi ottenuti e deviazione standard in ampiezza e frequenza;
- h) tabella con i parametri di qualità secondo le linee guida del progetto europeo SESAME;
- i) verifica dell'assenza di rumore elettromagnetico;
- j) interpretazione di "fr" e dello spettro H/V nei termini di caratteristiche del sito;
- k) valutazione dell'omogeneità del sito rispetto alle frequenze di risonanza;
- l) spessori della coltre di copertura;
- m) informazioni aggiuntive riguardanti la stazionarietà del segnale durante la registrazione e la direttività;
- n) Documentazione fotografica.


12. Indagini geoelettriche

12.1 Prospezione elettrica col metodo della tomografia elettrica multielettrodo

L'indagine elettrica col metodo della tomografia elettrica multielettrodo La prospezione geofisica consiste nel progressivo spostamento lungo una linea definita di un quadripolo AMNB, misurando di volta in volta la resistività dei terreni attraversati.

La prova dovrà essere adatta a determinare contrasti lineari o laterali di resistività, corrispondenti a variazioni di materiali o di altre caratteristiche fisiche.

La metodologia tomografica consiste nell'assegnare una determinata posizione ad uno dei due poli e nell'allontanare l'altro progressivamente, lungo il profilo, per quantità lineari fisse.

 AGENZIA DEL DEMANIO STRUTTURA PER LA PROGETTAZIONE	Elaborato: <i>capitolato tecnico prestazionale</i>	Codifica 03_P-VUL-G	
	Sottosezione: <i>Indagini geognostiche</i>	Revisione 01	Data 13/03/2024

Il risultato sarà la misura della resistività apparente dei punti di intersezione delle linee a 45° originate dai centri dei due dipoli (dispositivo dipolo-dipolo). L'elaborazione tomografica consisterà nel tracciamento di isolinee di resistività con fasce cromatiche differenziate (pseudosezioni di resistività), elaborando con appositi programmi di calcolo la sezione di resistività reale del sottosuolo a partire dalla distribuzione di resistività apparente.

12.1.1 Strumentazione e modalità esecutive

La strumentazione di acquisizione dati dovrà avere caratteristiche tali da permettere l'ottenimento dei migliori risultati possibili. In particolare, l'attrezzatura dovrà comprendere almeno i seguenti componenti:

- un dispositivo multielettrodo con un minimo di 32 elettrodi e una unità di acquisizione dati caratterizzata da un georesistivimetro digitale con impedenza di ingresso minima di 2,5 megaohm, sensibilità almeno di 0,1 millivolt, circuito di compensazione dei potenziali spontanei;
- lo strumento dovrà controllare l'erogazione di corrente con accuratezza nella misura dell'intensità di corrente inferiore al 1% del valore immesso, il georesistivimetro dovrà eseguire ripetuti cicli di misura memorizzando resistività, differenza di potenziale, intensità e deviazione standard;
- generatore di potenza costituito da un gruppo elettrogeno con raddrizzatore di potenza adeguata o con batterie a secco anch'esse di tensione e potenza adeguata;
- cavi elettrici multipolari ad alto isolamento con guaina specifica di protezione resistente alle azioni di trazione e abrasione;
- elettrodi in acciaio inox, in rame, in bronzo e impolarizzabili; in particolare gli elettrodi di tensione M ed N dovranno essere preferibilmente in rame e, in terreni particolarmente secchi, dovranno essere immersi in una soluzione acquosa, al fine di aumentare la conducibilità.

Il metodo geoelettrico si basa sulla misura tra due elettrodi (detti convenzionalmente MN) della differenza di potenziale ΔV connessa alla distribuzione nel sottosuolo di una corrente elettrica I immessa in una diversa coppia di elettrodi, detti AB.


Si otterrà quindi un valore di resistività apparente pari a:

$$\rho_a = K \frac{\Delta V}{I}$$

che è funzione, oltre che della posizione reciproca dei 4 elettrodi anzidetti (dipendenza contenuta nel parametro K , detto fattore geometrico), della distribuzione della resistività elettrica delle rocce nel sottosuolo interessato dalla propagazione della corrente I .

I dati acquisiti devono essere "interpretati" per ottenere, dall'insieme dei valori di ρ_a (resistività apparente), e un modello dell'effettiva distribuzione delle resistività elettriche reali nel sottosuolo indagato. Da questa distribuzione, con opportune tarature e/o in base alle conoscenze geologiche del sottosuolo, il modello geofisico viene trasformato in modello geo-litologico. Si dovrà concordare la modalità di acquisizione: di Wenner o di Schlumberger o in casi particolari dispositivi dipolo-dipolo e polo-dipolo.

Preliminarmente all'esecuzione della campagna di prospezione geoelettrica dovrà essere effettuata una prova di isolamento dei cavi del circuito elettrico, ed un test di verifica delle resistenze di contatto agli elettrodi prima di iniziare le misure. La durata del

	Elaborato: <i>capitolato tecnico prestazionale</i>	Codifica 03_P-VUL-G	
	Sottosezione: <i>Indagini geognostiche</i>	Revisione 01	Data 13/03/2024

periodo di registrazione dovrà essere tale da permettere la valutazione, senza incertezze, del valore della differenza di potenziale (ΔV).

La distanza interelettrodoica sarà definita sulla base delle profondità da raggiungere e delle dimensioni dell'obiettivo di indagine e dovrà comunque essere preventivamente concordata con l'Ente.

Per incrementare il dettaglio della misura ed ottenere il ricoprimento tra due linee contigue si farà ricorso a tecniche di sovrapposizione di linee consecutive (roll-along) mediante spostamenti successivi con passo regolare di una porzione (1/3 o 1/4) dello stendimento iniziale.

Per la definizione delle modalità esecutive più corrette della prospezione potranno essere eseguiti alcuni sondaggi elettrici verticali per la taratura delle caratteristiche geoelettriche del sottosuolo.

12.1.2 Output

Rapporto tecnico di indagine contenente:

- Una descrizione della strumentazione, delle operazioni eseguite, con commento ed interpretazione dei dati acquisiti e delle anomalie riscontrate;
- Cartografia di base in scala adeguata con l'ubicazione planimetrica geo-referenzata dei punti di misura;
- Tabelle con i valori di voltaggio, corrente, deviazione standard e resistività apparente per ogni misura;
- Pseudosezioni di resistività in scala adeguata, con i punti di misura, scala cromatica di riferimento (ohm-m) e relativa legenda interpretativa contenente i valori della resistività;
- Risultati dell'inversione e modellizzazione dei dati unitamente al completo database utilizzato per la valutazione geoelettrica ed il calcolo della distribuzione della resistività;
- Copia dei libretti di campagna originali;
- Documentazione fotografica.


13. Indagini elettromagnetiche

13.1 Prospezione elettromagnetica col metodo del Ground Penetrating Radar (G.P.R.)

L'indagine georadar si basa sulla misura ed interpretazione dei fenomeni che subisce un'onda elettromagnetica nel momento in cui essa incontra la superficie di un materiale con costante dielettrica relativa diversa da quella del mezzo in cui si sta diffondendo e, dunque, è soggetta a fenomeni di scattering.

La risoluzione e la profondità di indagine sono funzione delle caratteristiche dielettriche, conduttive e magnetiche dei mezzi attraversati, della frequenza delle onde emesse dall'antenna e della potenza del trasmettitore. Per questo motivo la scelta dell'antenna, della frequenza di acquisizione, dell'orientazione e delle modalità di acquisizione sono sito specifiche e vanno preventivamente concordate con la DL.

Il metodo risulta adatto per individuare forti contrasti dielettrici, ad esempio fra superfici di discontinuità tra materiali con comportamento dielettrico diverso (terreno – cls di strutture civili ad es. gallerie), cavità, metalli, sottoservizi, ecc.

 AGENZIA DEL DEMANIO STRUTTURA PER LA PROGETTAZIONE	Elaborato: <i>capitolato tecnico prestazionale</i>	Codifica 03_P-VUL-G	
	Sottosezione: <i>Indagini geognostiche</i>	Revisione 01	Data 13/03/2024

13.1.1 Strumentazione e modalità esecutive

La strumentazione di acquisizione dati deve essere di questo tipo:

- Laptop, Tablet o comunque qualsiasi unità di memorizzazione e visione dei dati acquisiti;
- Unità di controllo per l'emissione del segnale e la successiva l'elaborazione del segnale ricevuto;
- Antenne, dotate di amplificatore di potenza, con frequenza compresa tra 10 e 3000MHz da definire in funzione delle finalità dell'indagine;
- Cavo multipolare di collegamento tra l'unità georadar e l'antenna;
- Odometro o comunque ruota metrica montata sull'antenna;
- Batterie per l'alimentazione della strumentazione;

Dovranno essere disponibili appositi software necessari per l'analisi ed il trattamento dei segnali registrati (filtrazione, correzione, valutazione di velocità di propagazione, correlazione ecc..).

La prospezione si esegue spostando le antenne lungo la superficie da investigare o manualmente o per mezzo di veicoli. Il rilievo si esegue normalmente lungo profili paralleli o organizzati in maglie di dimensione idonea all'obiettivo della prospezione. L'ubicazione dei profili, la densità della maglia, il tipo e la configurazione delle antenne dovranno essere commisurati al tipo di materiale indagato, alla profondità di indagine e di dettaglio richiesto, e dovranno essere preventivamente approvate dall'Ente.

Compatibilmente al tipo di superficie da indagare dovrà essere garantita una buona linearità del piano di lavoro, cercando di eliminare, se possibile, asperità od oggetti metallici che possono produrre interferenze.

Il rilievo dovrà essere opportunamente georeferito mediante acquisizione delle coordinate GPS. Preliminarmente all'esecuzione della prospezione dovrà essere indagato un breve tratto campione il più possibile libera da anomalie di permittività, sul quale dovranno essere tarate le apparecchiature e saranno provate diverse configurazioni di impostazione (velocità di passaggio, distanza sorgente-struttura, frequenza di campionamento, offset delle antenne, ecc.) per determinare la tecnica ottimale in relazione agli obiettivi dell'indagine. In presenza di disturbi elettromagnetici causati da sorgenti esterne note, si dovrà filtrare preliminarmente il segnale con varie tipologie di filtri.


Qualora richiesto, dovrà essere possibile adottare uno schema di rilievo con più antenne a diversa frequenza, per investigare profondità diverse e con risoluzione differente in un unico passaggio.

Successivamente i dati acquisiti saranno elaborati applicando tecniche di guadagno per contrastare l'abbassamento del segnale con la profondità, tecniche di filtraggio dirette (taglia basso, taglia, alto passa banda) per cercare di incrementare il rapporto segnale/rumore attenuando le frequenze indesiderate e tecniche di filtri F-K per migliorare la coerenza laterale del segnale mediante l'attenuazione delle onde di disturbo laterali e dirette al suolo.

La parte conclusiva dell'elaborazione consisterà nell'analisi di velocità che sulla base della corretta conoscenza dell'andamento della funzione velocità dovrà permettere di definire l'esatta profondità delle varie discontinuità.

13.1.2 Output

Rapporto tecnico di indagine contenente:

 AGENZIA DEL DEMANIO STRUTTURA PER LA PROGETTAZIONE	Elaborato: <i>capitolato tecnico prestazionale</i>	Codifica 03_P-VUL-G	
	Sottosezione: <i>Indagini geognostiche</i>	Revisione 01	Data 13/03/2024

- a) Descrizione delle attrezzature impiegate, modalità esecutive dei rilievi e criteri di elaborazione; tale relazione dovrà inoltre mettere in evidenza gli obiettivi dell'indagine specificando, a seconda dei casi, le caratteristiche dei materiali e la stratigrafia dei terreni investigati, il contatto terreno-struttura, la presenza di acque, fratture, cavità locali ecc.;
- b) Rilievo topografico della superficie indagata e degli estremi delle strisciate eseguite;
- c) Rappresentazione plano-altimetrica in scala adeguata dei profili eseguiti e delle anomalie riscontrate;
- d) File grezzi acquisiti in campagna;
- e) Radargrammi filtrati e interpretati in funzione delle costanti dielettriche dei mezzi attraversati, con le distanze (m) in ascissa e i tempi di ascolto (ns) in ordinata e la profondità (m);
- f) Repertorio fotografico.

13.1.3 Riferimenti normativi

ASTM D 6432-99 Standard guide for using the surface ground penetrating radar method for subsurface investigation.

13.2 Prospezione elettromagnetica con elettromagnetometro


L'indagine elettromagnetica mediante lo studio del valore della conducibilità e della componente in fase del campo elettromagnetico permette l'individuazione di anomalie geofisiche riconducibili alla presenza di materiali estranei interrati, con particolare riferimento a quelli di natura metallica.

La magnetometria è un metodo di prospezione che si basa sull'esame delle proprietà magnetiche della materia, misurando le variazioni spaziali del campo magnetico terrestre dovute alla presenza nel terreno di corpi magnetizzati. La presenza nel sottosuolo di masse con proprietà ferromagnetiche, infatti, altera il valore del campo magnetico naturale ivi presente. L'anomalia magnetica (differenza tra il valore misurato in un punto e il valore normale per quella area) fornisce l'effetto dovuto ad un corpo presente nel sottosuolo. L'interramento di oggetti o masse di natura ferrosa produce una deformazione del campo magnetico, tanto più intensa quanto maggiore è la massa del corpo sepolto e minore la distanza dal punto di osservazione; le profondità d'esplorazione saranno tali da consentire l'individuazione di singole anomalie fino a 5-6 m di profondità.

Le indagini elettromagnetiche in dominio di frequenza (Frequency Domain Electro-Magnetic, FDEM) consentono di localizzare, in modo speditivo e su zone di vaste dimensioni, le zone anomale correlabili con possibili interramenti di rifiuti. Il metodo elettromagnetico fornisce una mappa (in planimetria) di distribuzione della conducibilità elettrica apparente e suscettività magnetica. L'ampiezza delle correnti indotte in un corpo conduttore nel sottosuolo dipende da diversi fattori:

- proprietà elettriche del conduttore;
- dimensioni e forma del conduttore;
- frequenza del campo primario;
- posizione del conduttore rispetto allo strumento di indagine.

La conducibilità elettrica (l'inverso della resistività) dei suoli e delle rocce dipende inoltre dal grado di saturazione in acqua, dalla salinità dell'acqua contenuta nei pori della roccia, dalla composizione mineralogica, dalla presenza di metalli o contaminanti organici (benzina, gasolio, nafta ecc.). L'acquisizione prevede lo spostamento di un elettro-

 AGENZIA DEL DEMANIO STRUTTURA PER LA PROGETTAZIONE	Elaborato: <i>capitolato tecnico prestazionale</i>	Codifica 03_P-VUL-G	
	Sottosezione: <i>Indagini geognostiche</i>	Revisione 01	Data 13/03/2024

magnetometro lungo una serie di profili paralleli, disposti secondo una geometria prestabilita in modo da investigare l'intera area in oggetto. Tale indagine consente di ricavare, sotto opportune ipotesi, il valore della conducibilità apparente del volume di suolo indagato, sulla base della componente in quadratura del campo magnetico secondario misurato alla bobina ricevente.

13.2.1 Strumentazione e modalità esecutive


Le indagini elettromagnetiche in dominio di frequenza (FEM) consentono di ottenere, in modo speditivo, profili e mappe dei valori della variazione di fase e dell'intensità del campo elettromagnetico secondario rispetto ai valori del campo primario. Il metodo di prospezione EM consiste nel passaggio di corrente alternata in una bobina trasmittente dando origine ad un campo magnetico (campo EM primario) variabile nel tempo; il flusso di tale campo magnetico genera in tutti i conduttori sui quali esso agisce (suoli, rocce) delle correnti indotte (correnti di Foucault) che, a loro volta, danno luogo ad un campo EM secondario. Tale campo elettromagnetico secondario, insieme a quello primario, si propaga direttamente attraverso l'aria provocando il passaggio di corrente alternata in una bobina ricevente. L'ampiezza delle correnti indotte in un corpo conduttore nel sottosuolo dipende principalmente da dimensione, forma, profondità dal p.c. e proprietà elettriche del conduttore stesso, nonché dalla frequenza del campo primario generato. La conducibilità elettrica dei suoli e delle rocce dipende inoltre dal grado di saturazione in acqua, dalla salinità dell'acqua contenuta nei pori della roccia, dalla composizione mineralogica e dalla presenza di metalli o contaminanti organici. L'indagine elettromagnetica prevede quindi l'analisi della variazione in termini di ampiezza e fase che un segnale subisce nell'attraversare mezzi a diversa conducibilità.

L'acquisizione dei dati avviene trasportando l'elettromagnetometro lungo linee equispaziate e disposte secondo una maglia quanto più possibile regolare, compatibilmente alla morfologia del sito in esame ed alla presenza di eventuali ingombri in superficie. È evidente che la presenza di campi elettromagnetici nella zona del rilievo possono essere fonte di disturbo. La misura elettromagnetica, in particolare, risulta fortemente disturbata dalla presenza di strutture interrato e non, tubazioni, motori elettrici di grosse dimensioni ed accumuli di rottami metallici.

La procedura di acquisizione dati può essere suddivisa in quattro fasi fondamentali:

- 1) tracciamento dell'area di acquisizione che, opportunamente referenziata rispetto ad un sistema di coordinate note, viene suddivisa in subaree (possibilmente rettangolare) costituite da serie regolari di linee di misura con interasse costante pari a 1.4 m, in funzione del dettaglio richiesto;
- 2) impostazione, da parte dell'operatore, dei parametri di acquisizione;
- 3) posizionamento sul primo punto di acquisizione (con coordinate $x = 0$, $y = 0$): l'operatore, attivato lo strumento, cammina con passo quanto più possibile regolare lungo la prima linea di misura;
- 4) dopo aver registrato i dati acquisiti lungo la prima linea, l'operatore passa alla successiva e ripete le procedure di cui al punto 3) fino a coprire l'intera area in esame.

Al termine dell'acquisizione il data-logger genera un file output costituito da una serie di punti a cui vengono attribuite le coordinate rispetto al sistema di riferimento locale, le componenti in quadratura e fase del segnale elettromagnetico, la conducibilità elettrica (funzione della quadratura) e la suscettività magnetica (funzione della componente in fase) per ogni frequenza impostata. La componente in fase risulta sensibile ad oggetti metallici (fusti sepolti, tubazioni interrate ecc.), mentre la componente in quadratura di

 AGENZIA DEL DEMANIO STRUTTURA PER LA PROGETTAZIONE	Elaborato: <i>capitolato tecnico prestazionale</i>	Codifica 03_P-VUL-G	
	Sottosezione: <i>Indagini geognostiche</i>	Revisione 01	Data 13/03/2024

fase proporzionale alla conducibilità del mezzo indagato. Tutti i parametri che vengono ottenuti sono definiti apparenti, in quanto risultanti dalla media delle proprietà dei materiali che costituiscono l'intero spessore di terreno investigato. L'utilizzo di più frequenze contemporaneamente consente di individuare anomalie diverse prodotte da target di diversa natura. La profondità d'indagine, funzione della frequenza, della conducibilità del mezzo e della geometria e disposizione dell'anomalia da indagare.

13.2.2 Output

Rapporto tecnico di indagine contenente:

- Descrizione delle attrezzature impiegate, modalità esecutive dei rilievi e criteri di elaborazione; tale relazione dovrà inoltre mettere in evidenza gli obiettivi dell'indagine;
- Rilievo topografico della superficie indagata e degli estremi delle strisciate eseguite;
- Rappresentazione plano-altimetrica in scala adeguata dei profili eseguiti e delle anomalie riscontrate;
- File grezzi acquisiti in campagna;
- Repertorio fotografico.

14. Indagini preliminari sulla GEOTERMIA

Le prove geotermiche sono finalizzate a verificare la fattibilità dello sfruttamento dell'energia geotermica.


Esse consistono in un test geotermico con riscaldamento di fluido vettore e misurazione delle temperature.

Come noto, le indagini di caratterizzazione termica dei terreni più diffuse sono note come Thermal Response Test o Ground Response Test — abbreviato TRT o GRT (Ingersoll et al., 1954). Queste indagini sono eseguite su sonde geotermiche “pilota” già installate nel sito di progetto e permettono di ricavare la conducibilità termica k del terreno attraversato dalla sonda geotermica e di valutare la resistenza termica della sonda R_b (Gehlin, 2002). I test di resa termica sono eseguiti su sonde geotermiche verticali per i quali sono note e definite la geometria (singola U, doppia U, spirale, coassiale ecc...), la profondità di perforazione ed il materiale di cementazione (Eskilson e Claesson, 1988). Le indagini termiche tradizionale (GRT o TRT) consentono di determinare la conducibilità termica “effettiva” media del terreno lungo la sonda pilota, che rappresenta la “risultante” di vari elementi importanti quali la presenza eventuale di falde, il tipo di riempimento della perforazione, il fluido termovettore e le caratteristiche della sonda stessa (Menichetti et al., 2009).

Durante il test il trasferimento di energia termica dalla sonda verso il terreno circostante determina una variazione di temperatura nel terreno stesso, dalla quale si desume l'efficienza della sonda geotermica in esercizio nel corso dell'estrazione o del prelievo di calore.

Il metodo di lavoro prevede l'utilizzo di una apposita apparecchiatura che consente di far circolare all'interno di una sonda geotermica, per molte ore, un fluido termovettore con una potenza termica costante.

Attraverso il monitoraggio continuo della temperatura e della portata del fluido termovettore si porta ed è mantenuto, per un determinato intervallo di tempo, il sistema sonda/terreno in un regime stazionario. Tramite l'analisi dell'andamento della

 AGENZIA DEL DEMANIO STRUTTURA PER LA PROGETTAZIONE	Elaborato: <i>capitolato tecnico prestazionale</i>	Codifica 03_P-VUL-G	
	Sottosezione: <i>Indagini geognostiche</i>	Revisione 01	Data 13/03/2024

temperatura nel tempo è possibile risalire al valore della conducibilità termica del terreno k e della resistenza termica del foro R_b (Eskilson e Claesson, 1988).

Il principale limite del Test TRT/GRT è che esso restituisce unicamente un valore medio dei principali parametri termici del terreno (conducibilità termica, diffusività e temperatura indisturbata), senza nessuna informazione sulla loro distribuzione e variazione con la profondità.

Tale limite in alcuni casi può determinare una notevole approssimazione delle successive fasi di progettazione e dimensionamento. Inoltre, questi test non consentono di mettere in evidenza le peculiarità geologico-termiche dei terreni indagati che possono determinarsi per esempio a causa della presenza di falde in movimento (che determinano un aumento della conducibilità misurata grazie alla componente avvertiva dei moti di falda) o a causa di anomalie termiche in determinate aree di ex-complessi vulcanici, che frequentemente si riscontrano nel versante tirrenico dell'Appennino Centrale.


Il test di risposta termica di tipo avanzato consiste nella misurazione di log termici in differenti condizioni di eccitazione termica ottenuta tramite l'immissione di calore tramite generatori a potenza costante quali resistenze termiche o cavi scaldanti inseriti in sonda. L'esecuzione dei profili verticali di temperatura ottenibili, per esempio, tramite sensore wireless GeoSniff durante la fase di eccitazione termica consente di calcolare la conducibilità termica (k) e la resistenza della sonda (R_b) di ogni strato del sottosuolo.

14.2 Modalità esecutive

Si ritiene maggiormente utile estendere la caratterizzazione termica fino alle massime profondità ipotetiche per la realizzazione di sonde geotermiche verticali a servizio di impianti di climatizzazione in pompa di calore.

Nello specifico, si prevedono le attività di seguito descritte e dettagliate nel computo:

1. Allestimento cantiere (allestimento e disallestimento cantiere, compresi i trasporti in A/R ed i viaggi del personale);
2. fornitura sonda geotermica del tipo a doppia U in polietilene PEAD PN 16/ PN25 HD 2X32. Profondità m. 120. Sonde certificate SKZ con tenuta idraulica verificata e certificata dal produttore in fabbrica.
3. Perforazione ed installazione sonda (perforazione verticale, compreso l'utilizzo di camicia di rivestimento provvisorio del foro in corrispondenza di strati incoerenti o altamente permeabili, eseguita con tecnologia a distruzione di nucleo per mezzo di rotazione o roto-percussione, mediante circolazione diretta del fluido di perforazione. La perforazione potrà essere realizzata utilizzando una macchina perforatrice dotata di testa di rotazione singola o doppia, al fine di avere il contestuale avanzamento delle aste di perforazione e delle tubazioni di rivestimento);
4. Test di flusso e tenuta {Prova di flusso e di tenuta per ogni circuito energetico installato all'interno della sonda geotermica di prova};
5. Enhanced Ground Response Test: esecuzione di GRT di tipo avanzato, con idonea apparecchiatura per la determinazione e variabilità in profondità delle seguenti grandezze: conduttività termica equivalente del terreno, resistenza termica equivalente del pozzo (sonda, riempitivo); temperatura del terreno indisturbato, tramite cavo scaldante ed esecuzione di n. 5 profili termici (Log termici) con misura puntuale della temperatura del terreno in funzione della profondità con apposita strumentazione. Durata del test indicativamente compreso tra 72 e 96 ore.

 AGENZIA DEL DEMANIO STRUTTURA PER LA PROGETTAZIONE	Elaborato: <i>capitolato tecnico prestazionale</i>	Codifica 03_P-VUL-G	
	Sottosezione: <i>Indagini geognostiche</i>	Revisione 01	Data 13/03/2024

La sonda utilizzata per il test geotermico a conclusione delle prove resterà in cantiere e potrà essere utilizzata per l'impianto geotermico finale attraverso l'installazione di una pompa di calore e dell'impianto elettrico necessario.

14.3 Output

Rapporto tecnico di indagine contenente:

- a) Relazione finale
- b) Descrizione della metodologia di misura adottata
- c) Attrezzature utilizzate,
- d) Caratterizzazione geologica e idrogeologica del sito
- e) Interpretazione dei dati misurati.

14.4 Ubicazione della perforazione per installazione della sonda geotermica

La perforazione per l'installazione della sonda geotermica pilota verrà effettuata in corrispondenza di uno dei fori di sondaggio previsti per la campagna delle indagini geognostiche, al fine di ottimizzare i costi della perforazione.


Si ritiene inoltre opportuno ubicare la sonda geotermica pilota, in posizione utile e conveniente, nel caso in cui si voglia garantire che questa venga successivamente inserita nel campo sonde di progetto.

Va considerata tra l'altro la necessità di installare un quadro elettrico di cantiere o di prevedere un generatore di corrente in grado di garantire la fornitura elettrica monofase (potenza richiesta 4kW) per tutta la durata dei test.

15. Piano delle indagini e relativa ubicazione

La campagna di indagini geognostiche può essere sintetizzata come segue:

- n.10 sondaggi meccanici a carotaggio continuo (Listino_Puglia_OOPP_2023) di cui:
 - n.3 sondaggi attrezzati con piezometro a tubo aperto in PVC (Listino_Puglia_OOPP_2023);
 - n.3 sondaggi attrezzati per l'esecuzione della prova Down-Hole (Listino_Puglia_OOPP_2023);
 - n.4 sondaggi meccanici a carotaggio non attrezzati (Listino_Puglia_OOPP_2023);
- n.20 prove SPT in foro (Listino_Puglia_OOPP_2023);
- n.15 prelievi di campioni indisturbati (Listino_Puglia_OOPP_2023);
- n.15 prelievi di campioni di roccia dalle cassette catalogatrici (Listino_Puglia_OOPP_2023);
- analisi di laboratorio sui campioni indisturbati (esami di identificazione, analisi granulometrica, determinazione del peso di volume, del contenuto naturale d'acqua e del peso specifico, prova edometrica e prova di taglio diretto CD) (Listino_Puglia_OOPP_2023);
- analisi di laboratorio sui campioni di roccia prelevati nel corso dei sondaggi (esami di identificazione, prove meccaniche) (Listino_Calabria_2023);
- n.6 prove di permeabilità nel corso dei sondaggi (Listino_Puglia_OOPP_2023);
- n.3 prospezioni geofisiche in foro di tipo Down-Hole (Listino_Puglia_OOPP_2023);

 AGENZIA DEL DEMANIO STRUTTURA PER LA PROGETTAZIONE	Elaborato: <i>capitolato tecnico prestazionale</i>	Codifica 03_P-VUL-G	
	Sottosezione: <i>Indagini geognostiche</i>	Revisione 01	Data 13/03/2024

- n.5 prospezioni geofisiche di tipo sismica a rifrazione da circa 96 ml cad. (Listino_Puglia_OOPP_2023);
- n.4 prospezioni geofisiche di tipo MASW (Listino_Puglia_OOPP_2023);
- n.4 prospezioni geofisiche di tipo tomografia elettrica multielettrodo da circa 200 ml cad. (Listino_Puglia_OOPP_2023);
- n.3 misure di sismica passiva HVSR (Listino_Puglia_OOPP_2023).

Le indagini saranno ubicate secondo lo schema seguente:



16. Calcolo Parcella

Vedasi allegato dettaglio compensi.